ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADOR
OSVALDO SENA GUIMARÃES

VOLUME 4

Editora Poisson

Osvaldo Sena Guimarães
(Organizador)

Engenharia, Gestão e Inovação
Volume 4

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2022

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Msc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57
Engenharia, Gestão e Inovação – Volume 4/
Organizador: Osvaldo Sena Guimarães
– Belo Horizonte - MG: Poisson, 2022

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-193-1
DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação.I. GUIMARÃES, Osvaldo Sena II. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Utilização de dados sísmicos sintéticos para processamento sísmico com uso de software livre para simular a visualização de estruturas em subsuperfície 08

Robertom Guedes do Amaral, Joemes de Lima Simas, Jackeline Vieira da Silva e Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.01

Capítulo 2: Simulacão e estudo das deformacões que precedem o rompimento de barragens através de modelos reduzidos 21

Daniel Trautwein, Adinele Gomes Guimarães, Geraldo Lúcio Tiago Filho

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.02

Capítulo 3: Aplicabilidade do uso de atracação por sistema de sucção em navios graneleiros no Porto de Santos 32

Feliphe Santos Baranowski, José Carlos Santos Santana, Sidney Evangelista Araújo

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.03

Capítulo 4: Análise da influência da disposição geométrica dos eixos no custo de produção de um redutor de velocidade 40

Lúcio Flávio Souza Oliveira, José Carlos de Lima Junior, João Bosco de Aquino Silva, Vinícius Antônio Cardoso Mendes, Halane Maria Braga Fernandes Brito

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.04

Capítulo 5: Influência da operação de um sistema de armazenamento a bateria na qualidade da energia 49

Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte, Thiago Mota Soares, Maria Emília de Lima Tostes, Ubiratan Holanda Bezerra, Andréia Antloga do Nascimento, Vinicius Borges Andrade, Athila Santos de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.05

Capítulo 6: Avaliação da microfiltração no tratamento de água com alto teor de sólidos totais 62

Bruna Dolabella Eustáquio, Kátia Cecília de Souza Figueiredo

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.06

Capítulo 7: Coleta seletiva e educação ambiental: Como um aplicativo móvel pode auxiliar na implantação da política nacional de resíduos sólidos em um município 67

Marcos Rogério Ferreira

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Correlação e calibração de modelo estrutural de componente em polipropileno submetido a ensaio de torção 74

Gabriel Scomparin Silva, Ernesto Massaroppi Junior

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.08

Capítulo 9: Avaliação da remoção do corante de azul de metileno utilizando um resíduo de baixo custo (*Limnoperna fortunei*) 81

Daniel Mantovani, Luís Fernando Cusioli, Alexandre Diório, Rafael Germano Dal Molin Filho, Daniel Angelo Longhi

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.09

Capítulo 10: Efeitos de campos eletromagnéticos de fones de ouvido na tensão de cisalhamento do sangue: Modelagem e validação 88

Daniel Ribeiro Dessaune, Jornandes Dias da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.10

Capítulo 11: Síntese de nanocompósitos de poliestireno e pseudoboemita tratada com octadecilamina pelo processo de polimerização em suspensão *in-situ*: Efeito do tipo de agitador 93

Douglas de Lima, Amanda Ferreira Grave, Patrícia de Andrade Martins, Leila Figueiredo de Miranda, Antônio Hortêncio Munhoz Junior, Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa, Míriam Tvrzská de Gouvêa

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.11

Capítulo 12: Avaliação de modelos reológicos do caldo oriundo da fermentação via *Streptomyces tsukubaensis* para a obtenção de tacrolimo 98

Alessandra Suzin Bertan, Jenniffer Solange Ayala Rivera, Guilherme José de Castilho, Marco Aurélio Cremasco

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.12

Capítulo 13: Influência das soluções de glicerol, DMSO e metanol na criopreservação de *Chlorella vulgaris* 103

Gislaine Brito Santos, Keilla Santos Cerqueira, Diego de Freitas Coêlho, Jacqueline Rêgo da Silva Rodrigues, Roberto Rodrigues de Souza

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.13

Capítulo 14: Avaliação do efeito da modificação da acidez de Brønsted promovida pela dessilicação da zeólita Beta na transformação do 2- metiltiofeno 111

Angélica Amaral de Oliveira, Ana Luíza Freitas Ferreira, Manuela Lisboa de Oliveira, Jamile Conceição de Jesus Rocha, Ronaldo Costa Santos, Luiz Antônio Magalhães Pontes

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.14

SUMÁRIO

Capítulo 15: Otimização do processo de produção de biodiesel utilizando óleo de fritura como matéria-prima 120

Alex Nogueira Brasil, André Nogueira Brasil, Carolina Maria de Lima Alves, Daniel Canabrava Martins, Daniela Vichiato Lima, Davyston Carvalho Pedersoli, Henrique Martins Nogueira, Maria Paula Duarte de Oliveira

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.15

Capítulo 16: Ciclo de vida de projeto aplicado à realização de serviços de manutenção em uma indústria petroquímica 125

Allan Deangelle Santos Mota, Fabricio Martins Lacerda, Enise Aragão dos Santos

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.16

Capítulo 17: Otimização dos parâmetros de um modelo de bombas em sistemas de bombeio centrífugo submerso 138

Ana Carla Costa Andrade, André Laurindo Maitelli, Carla Wilza Souza de Paula Maitelli, Ursula Jácome Barreto Britto

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.17

Capítulo 18: As relações entre os acidentes na indústria de petróleo e o desenvolvimento das normas e marcos regulatórios associados: Um estudo exploratório 150

Camila Bueno de Castro, Lucas de Almeida Martins, Geraldo de Souza Ferreira

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.18

Capítulo 19: Controle antecipativo por estimativa de carga térmica em vídeo 158

Mariana Pimentel Martins da Silva, Alexandre Saran Rodrigues, Adolfo Bauchspiess

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.19

Capítulo 20: A simulação computacional no ensino da temática de Terra como corpo cósmico 170

Jefferson Oliveira do Nascimento, Italo Gabriel Neide, Sônia Elisa Marchi Gonzatti, Marcelo Albano Moret

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.20

Capítulo 21: Análise do desempenho acadêmico de estudantes do Curso de Turismo de uma Instituição de Ensino Superior utilizando técnicas multivariadas 177

Teófilo Câmara Mattozo, Gutembergue Soares Silva, André Pedro Fernandes Neto, José Alfredo Ferreira Costa, Alcêdo Pinheiro Galvão

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.21

SUMÁRIO

Capítulo 22: Uma abordagem do Scrum para Gestão de Tempo, Produtividade e Bem-Estar 190

Carlos Fran Ferreira Dantas, Rosane Targino de Medeiros, Fernanda Ligia Leonardo Marques

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.22

Capítulo 23: Previsão do índice S&P 500 da Bolsa de Valores através de Redes Neurais Artificiais Multicamadas..... 201

Rodrigo de Moraes, Daniel Gomes Soares

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.23

Capítulo 24: Aplicação do Modelo de Brady e Cronin na avaliação da qualidade de serviços utilizando a Técnica de Regressão Logística..... 208

Teófilo Câmara Mattozo, Gutembergue Soares da Silva, André Pedro Fernandes Neto, José Alfredo Ferreira Costa

DOI: 10.36229/978-65-5866-193-1.CAP.24

Autores:..... 217

Capítulo 1

Utilização de dados sísmicos sintéticos para processamento sísmico com uso de software livre para simular a visualização de estruturas em subsuperfície

Robertom Guedes do Amaral
Joemes de Lima Simas
Jackeline Vieira da Silva e Silva

Resumo: Atualmente existe uma gama de métodos geofísicos aplicados em diversas áreas das indústrias com objetivos específicos, dentro desses métodos existe o método sísmico de reflexão, que utiliza propagação de ondas em subsuperfície para a caracterização das estruturas geológicas de uma determinada área, além disso, este é o método mais utilizado na indústria petrolífera. O processamento dos dados sísmicos adquiridos é realizado de forma digital através de softwares específicos, que simulam e fornecem visualizações da geologia da subsuperfície, podendo ou não conter estruturas potenciais para acúmulo de hidrocarbonetos. A maioria desses softwares são privados e exclusivos das empresas responsáveis pelos estudos, todavia algumas empresas disponibilizam seus softwares para aquisição através de compra, o que no âmbito acadêmico se torna inviável, uma vez que o custo é elevado, além do que, não há disponibilidade de dados reais. A partir disso, este trabalho visa utilizar dados sísmicos sintéticos em simulações utilizando o Software GêBR, que é um software livre, para visualização dessas estruturas geológicas, sendo possível a associação dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas específicas do curso e em com isso, a idealização da parte dos alunos do curso que irão utilizar este software do que se é realmente realizado na indústria.

Palavras-chave: Processamento sísmico; Software livre; GêBR

1. INTRODUÇÃO

O petróleo vem sido utilizado desde tempos remotos, sendo mensurado, inclusive, na Bíblia: “Você, porém, fará uma arca de madeira de cipreste; divida-a em compartimentos e revista-a de piche por dentro e por fora” (Gênesis 6, 14).

À sequência geológica de rocha geradora, rocha armazenadora, rocha selante e armadilha geológica se dá o nome de sistema petrolífero, que é uma estrutura geológica com potencial de aprisionamento de petróleo. O conhecimento prévio das estruturas geológicas que se fazem presentes numa região considerada com potencial é extremamente necessário para dar continuidade às possíveis futuras operações, como por exemplo, a perfuração do poço pioneiro.

Estudos geológicos e geofísicos são realizados para obter informações da subsuperfície de uma determinada área e, posteriormente a caracterização das estruturas geológicas presentes, a partir da simulação das informações adquiridas realizada através de softwares, é possível caracterizar e descrever a estrutura como possível jazida de hidrocarbonetos ou não. Na indústria petrolífera o método mais importante e utilizado para a coleta dessas informações é o método sísmico de reflexão.

Atualmente existe uma gama de softwares que são utilizados na indústria petrolífera para análise de dados sísmicos obtidos numa dada área e, a partir da utilização destes dados é possível visualizar as estruturas geológicas presentes.

A ideia de levar estes softwares às salas para que os alunos possam desde cedo ter contato com o que é realmente feito em prática é tentadora, todavia existe um problema: o alto custo de compra e licença de utilização destes softwares, o que realmente é um grande empecilho, mesmo se a instituição arcar com tais despesas.

Tendo isso em vista, o presente trabalho tem como principal objetivo a utilização de softwares livres em sala de aula, especificamente o Software GêBR para simular dados sísmicos sintéticos de reflexão, a fim de levar os alunos de Engenharia de Petróleo e Gás a visualizarem estruturas geológicas, associando os conceitos básicos de geologia do petróleo aos conceitos do método sísmico de reflexão, podendo assim, ter um prévio acesso do que se é realizado em seu âmbito profissional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOFTWARES LIVRES

Grande maioria dos softwares utilizados nas pesquisas geofísicas voltadas para indústria do petróleo é desenvolvida por empresas privadas para próprio e exclusivo uso, algumas vezes tais empresas disponibilizam a aquisição de seus softwares a partir de compra prévia.

No âmbito acadêmico tais softwares se tornam de difícil aquisição, pois possuem valores elevados, além do que, há demanda de computadores mais sofisticados para a execução correta do programa, o que é mais um grande investimento. Além disso, mesmo fazendo todos esses investimentos, os dados sísmicos reais estão sob posse das empresas e não são disponibilizadas para uso livre, ou seja, os dados utilizados nas simulações em sala de aula seriam sintéticos e tais investimentos acabariam se tornando inviáveis no meio acadêmico.

Dessa forma a alternativa encontrada é a utilização de softwares livres ou Free Software, de acordo com CAMPOS (2006), utilizando a definição de software livre criada pela Free Software Foundation, é o software que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição. A forma usual de um software ser distribuído livremente é sendo acompanhado por uma licença de software livre (como a GPL ou a BSD), e com a disponibilização do seu código-fonte.

Existem vários grupos de pesquisa em instituições de nível superior que fazem pesquisas e desenvolvem softwares livres que processam dados sísmicos, um desses grupos é o Grupo de Geofísica Computacional formada em 2001 na Universidade de Campinas, onde é desenvolvido o GêBR Project, sob a direção do pesquisador professor Ricardo Biloti.

2.2 GêBR

Segundo o site do Instituto de Ciência e Tecnologia Geofísica do Petróleo, GêBR é uma biblioteca computacional baseada nas tecnologias DOM e XML para a representação e manipulação de fluxo de processamento de dados sísmicos. Esta biblioteca viabiliza a criação de um ambiente de processamento sísmico, livre, aplicável tanto no âmbito acadêmico como no âmbito profissional. A biblioteca está implementada em linguagem C, e licenciada como software livre. Ela permite a implementação de novos métodos, e possibilita a interconexão entre eles na forma de fluxos de processamento encadeados e independentes.

Eduardo Filpo, geofísico sênior da Petrobras, por volta dos anos 90, foi o primeiro a ter a ideia de desenvolver uma interface para o processamento sísmico para fins acadêmicos. Quando FILPO (2009) cita que quando era aluno de doutorado do PPPG/UFBA, onde conheceu grandes professores e alunos e um ótimo programa de estudo aplicado ao processamento sísmico, logo percebeu o potencial cientifico que era melhorado ao comparar com os softwares comerciais que custavam uma fortuna, entretanto esse estudo não era utilizado em escala de produção. Assim sentiu a necessidade de construir um software de processamento geofísico brasileiro.

Outro ponto determinante na idealização da GêBR foi a utilização de laboratório de computação com sistema Linux na disciplina de métodos sísmicos em diversas edições Curso Introdutório de Geofísica, onde os exercícios práticos consistem em rodar programas prontos com diversas parametrizações diferentes (FILPO, 2009).

O principal objetivo do Projeto GêBR é estimular a integração da Comunidade Geofísica Brasileira, fornecendo uma interface para o processamento de dados geofísicos que poderia ser usada não apenas para fins didáticos, mas também como um veículo de disseminação de pesquisa.

A interface de processamento sísmico GêBR permite a utilização de vários computadores em rede, de maneira a construir um poderoso ambiente computacional para o processamento de dados geofísicos. Para que tal cooperação ocorra esses computadores precisam trocar informações entre si. Essa comunicação é feita explicitamente via rede (BILOTI, 2012).

3. MÉTODOS UTILIZADOS

O presente trabalho foi realizado a partir do método de pesquisa exploratória que, segundo GIL (1995), são pesquisas desenvolvidas com objetivo de proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato. ANDRADE (2001) complementa dizendo que esta pesquisa se configura como fase preliminar, que busca proporcionar maiores informações sobre o assunto que vai se investigar.

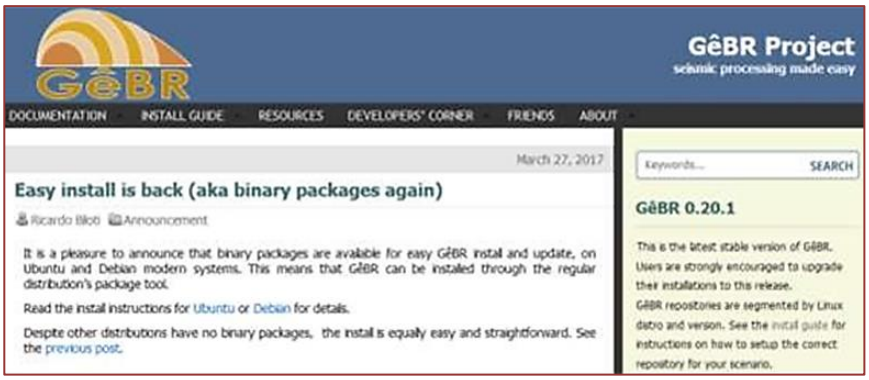
O processo metodológico utilizado neste trabalho visa mostrar as fases e os passos necessários de desde a instalação dos constituintes do software até a utilização e manipulação de dados sísmicos sintéticos para visualização de estruturas geológicas potenciais à acumulação de petróleo utilizando o Software Livre GêBR.

Para tal, o requisito básico para a instalação da versão mais recente do software é o Sistema Operacional Linux, ainda não sendo possível a instalação do mesmo em outros sistemas operacionais.

Inicialmente foram apresentadas propostas de instalação do Software para desenvolvimento das atividades no primeiro semestre de vigência do projeto.

A página inicial do Projeto GêBR (FIGURA 1) fornece as informações iniciais para o início do processo de instalação do Software e de seus componentes.

Figura 1: Página inicial do site do Projeto GêBR

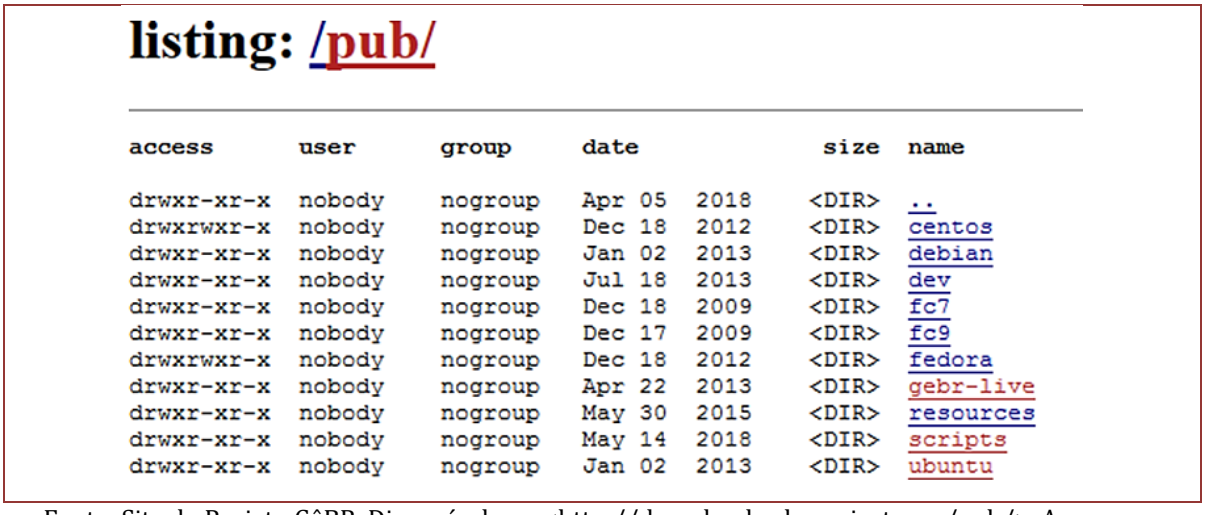


Fonte: Site do Projeto GêBR. Disponível em: <http://www.gebrproject.com/>. Acesso em 21/01/2019.

Para tal, a instalação do Software GêBR foi feita nos computadores de um dos laboratórios de informática do Instituto de Computação (ICOMP) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pois neles há os requisitos necessários para a instalação e utilização do software mencionado, além do que, os alunos podem ter acesso a estes laboratórios, o que facilita a interatividade e viabilidade do programa, uma vez que os alunos não precisariam modificar sistema operacional dos seus computadores para realizar a instalação.

A priori, a instalação do Software GêBR foi realizada em um computador para que o processo seja demonstrado nos resultados. Foram realizadas todas as propostas possíveis de instalação do Software, conforme Figura 2, pois o mesmo requer várias atualizações.

Figura 2: Página para download dos componentes e do *Software* GêR

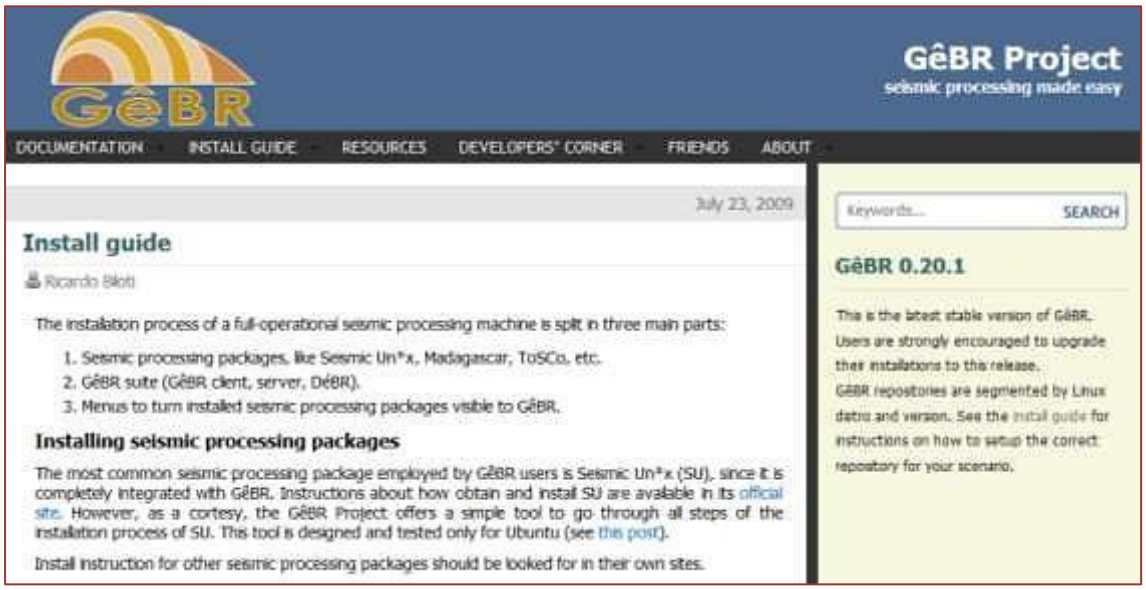


Fonte: Site do Projeto GêBR. Disponível em: <http://download.gebrproject.com/pub/>. Acesso em 21/01/2019.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

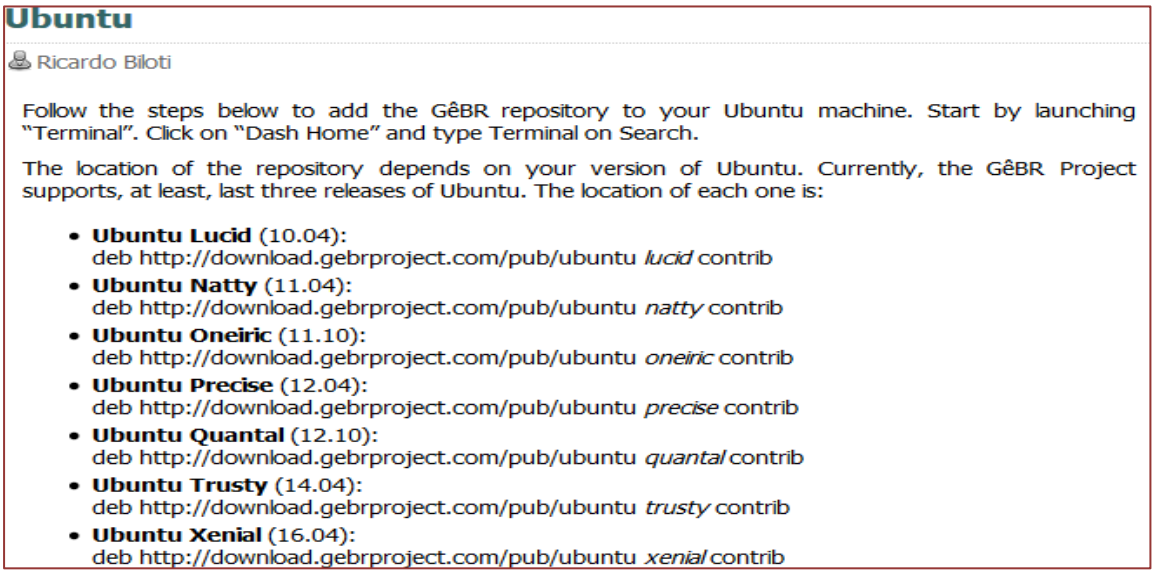
O processo de instalação do *Software* GêBR requereu vários outros componentes secundários para implementar sua funcionalidade. Devido a complexidade de instalação dos *packs* – que são justamente os pacotes do GêBR e que fazem o programa funcionar de forma adequada – e, graças a isto o processo de instalação foi bastante demorado. A partir do Guia de Instalação (FIGURA 3), conseguiu-se realizar a instalação do *Software* no Ubuntu, conforme a Figura 4.

Figura 3: Guia de Instalação do GêBR



Fonte: Site do Projeto GêBR. Disponível em: <http://www.gebrproject.com/?page_id=82>. Acesso em: 22/01/2019.

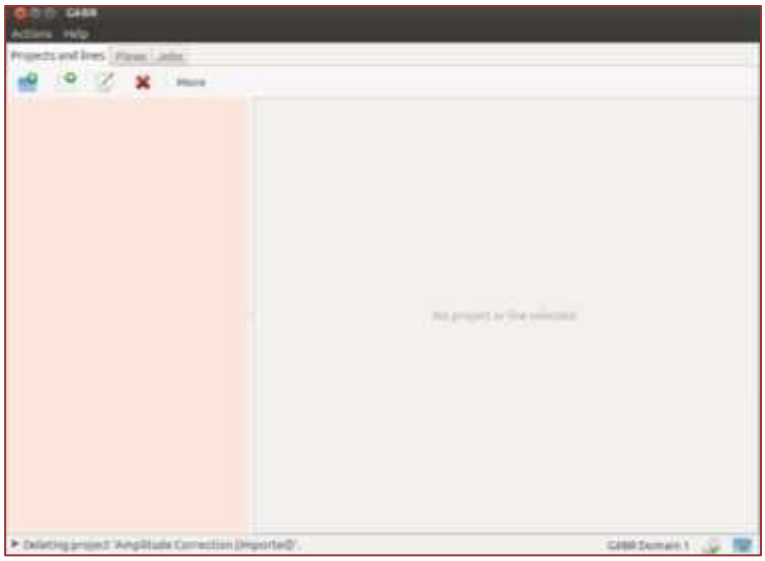
Figura 4: Guia de instalação do Ubuntu



Fonte: Site do Projeto GêBR. Disponível em: <http://www.gebrproject.com/?page_id=1158>. Acesso em: 22/01/2019.

Mesmo com o guia de instalação do GêBR houve algumas complicações, principalmente com *links* quebrados que redirecionariam às páginas de *download* de alguns desses pacotes, o que levou a hipótese de que algumas das funcionalidades do *software* não iriam apresentar retorno satisfatório após a instalação. Como resultado deste processo, conseguiu-se a seguinte interface do *Software* conforme a Figura 5.

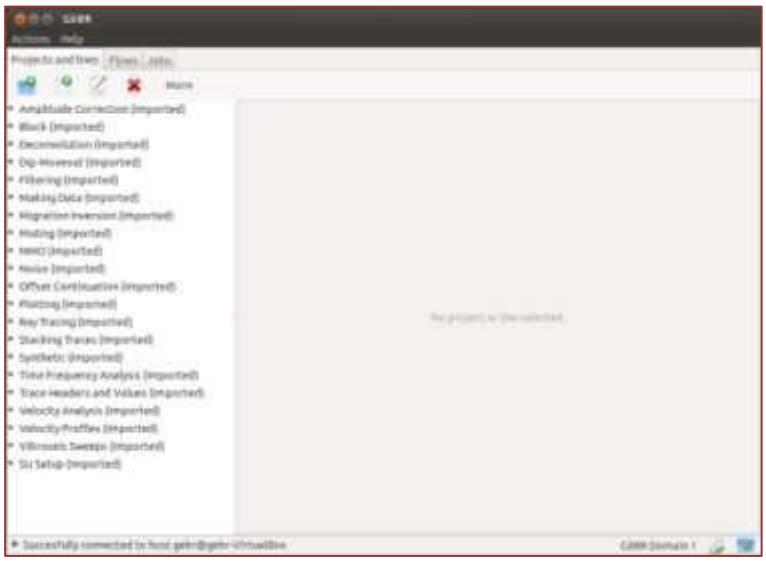
Figura 5: Interface do GêBR



Fonte: O Autor

Como dito posteriormente, o método geofísico de aquisição de dados mais importante para a indústria petrolífera é o método sísmico de reflexão. Para o GêBR é possível fazer o download e instalação de *samples*. Para realização deste projeto, o *sample* utilizado para simular os dados sísmicos sintéticos foi o *Seismic Unix*, que conta com 21 pacotes (FIGURA 6) principais que se subdividiam em 69 pacotes secundários.

Figura 6: Interface do GêBR com os 21 pacotes do *Seismic Unix*



Fonte: O Autor

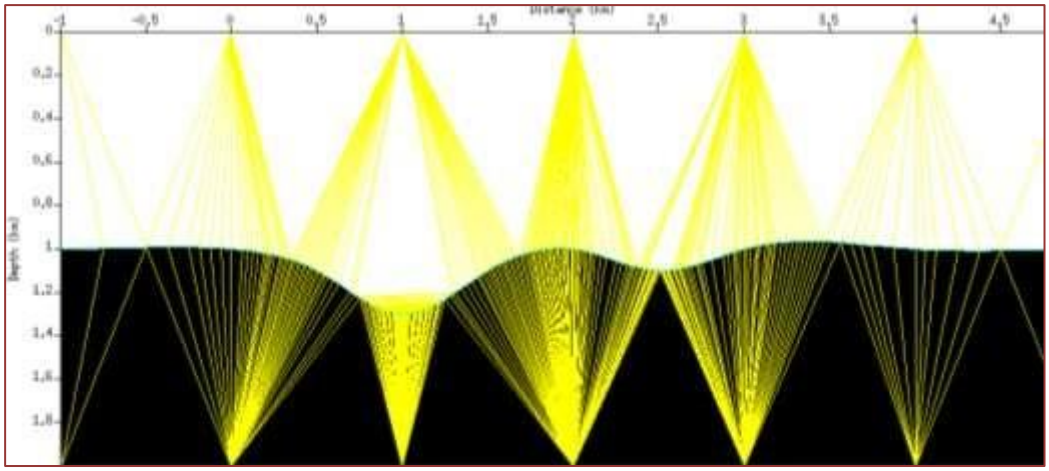
Cada pacote foi aberto um por um, a partir de suas pastas de exemplos, e simulado um de cada vez e, infelizmente alguns pacotes não demonstraram resultados satisfatórios (simulação falha), mesmo reinstalando o programa em diversas máquinas, o problema com os *links* continuava.

Após todo o processo de testes de simulação, uma seleção de pacotes funcionais e que rendiam resultados satisfatórios foi realizada. As simulações no GêBR variaram em suas complexidades, ou seja, geraram desde resultados simples, como por exemplo a propagação de ondas sísmicas em subsuperfície, até resultados mais avançados, como por exemplo, traços sísmicos complexos em propagação em estruturas geológicas.

Dentre todas as simulações foram selecionadas algumas imagens geradas para se alcançar os objetivos deste trabalho.

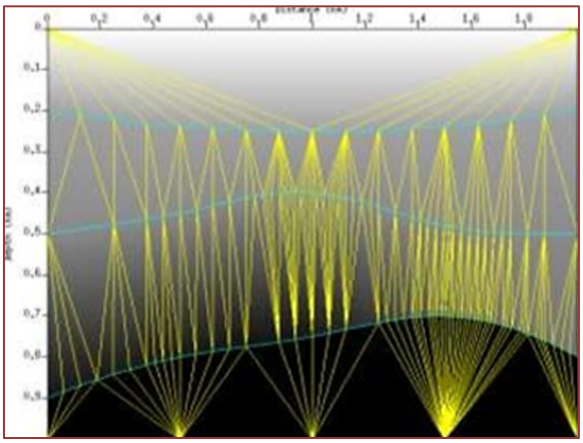
No final do período letivo 1/2019 o *Software* GêBR foi utilizado pelos alunos da disciplina de Geofísica do Petróleo, oferecida pelo Departamento de Engenharia de Petróleo e Gás para o Curso de Engenharia de Petróleo e Gás, com 21 alunos matriculados de períodos diversos. Algumas imagens geradas através de simulações foram apresentadas aos alunos conforme Figura 7, Figura 8 e Figura 9.

Figura 7: Estrutura geológica observada através da simulação de levantamento sísmico



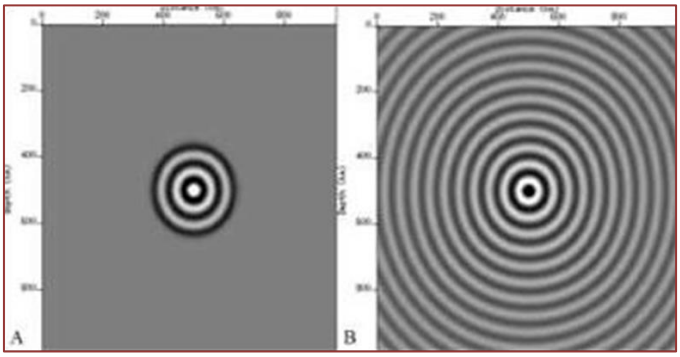
Fonte: O Autor

Figura 8: Estrutura geológica observada através da simulação de levantamento sísmico



Fonte: O Autor

Figura 9: Simulação de propagação de ondas sísmicas em subsuperfície. A) Início da propagação. B) Limite da propagação



Fonte: O Autor

Após utilização do S*oftware* GêBr, um questionário constituído de oito perguntas (cujas as opções de resposta variavam de acordo com a particularidade de cada pergunta) foi enviado para que os alunos da disciplina respondessem, as perguntas e respostas serão apresentadas no Apêndice A.

É importante salientar as duas primeiras perguntas, é a partir delas que é possível fazer uma análise comparativa com os resultados individuais de cada aluno com todas as outras respostas. Um aluno que cursou a disciplina mais de uma vez já teria, em tese, conhecimento teórico acerca da utilização dos Métodos Sísmicos, o que tornaria a assimilação e visualização de estruturas geológicas um pouco menos complexas.

De todos os 21 alunos apenas dois já haviam cursado a disciplina, todavia, nenhum deles conhecia o *Software* GêBR. A partir das respostas (APÊNDICE A) é possível notar que, mesmo sem conhecimento prévio do GêBR, a maioria deles teve facilidade em assimilar os conhecimentos do Método Sísmico com a utilização do programa, ainda que 13 desses alunos nunca tivessem utilizado nenhuma outra ferramenta de simulação. Quando perguntados sobre o esclarecimento de dúvidas e sobre a facilidade da visualização das estruturas, em média 14 alunos responderam que de certa forma, haviam conseguido esclarecimento

4. CONCLUSÃO

A utilização de *softwares* livres como o GêBR torna viável o estudo geral e específico de assuntos relacionados nas mais diversas áreas das ciências, tanto no âmbito acadêmico quanto no profissional, neste caso, Geofísica do Petróleo.

Tratando especificamente do GêBR, mesmo sendo um *software* livre, o processo de instalação foi árduo devido o problema com os *links* disponibilizados no manual do Projeto GêBR e apesar das tentativas falhas de correção dos *bugs*, o programa conseguiu funcionar da maneira que os limites operacionais permitiam.

Os pacotes do GêBR já contavam com exemplos prontos e com dados sintéticos pré- dispostos, o que tornou o processo de simulação um pouco mais simples já que não havia necessidade de criar ou alterar códigos de programação para o *software*, porém o problema com os *links* quebrados foi constante desde o início das tentativas do processo de instalação até as fases finais de simulação e aplicação em sala de aula.

É certo que o desempenho do programa não foi totalmente satisfatório e que seu potencial não foi totalmente utilizado, porém a execução dos pacotes que funcionaram foi de forma bem sucedida, de fácil uso e visualização, com comandos simples e de fácil manuseio, isso levando em consideração uma turma de alunos em que todos não conheciam o programa e que a maioria jamais se quer havia utilizado algum outro *software* de simulação.

Além dos pontos citados, o programa conta apenas com projeções em 2D, o que pode ter sido um dos fatores recorrentes para que nem todos os alunos da turma conseguissem fazer as assimilações necessárias.

A utilização de dados sísmicos sintéticos para visualização de estruturas geológicas com o auxílio do GêBR

pode ser considerada de forma satisfatória, uma vez que, apesar das dificuldades encontradas ao longo do caminho, os objetivos do trabalho conseguiram ser atingidos, tanto na parte de visualização quanto na parte da utilização do *software* pelos alunos da Universidade.

Objetivos

Geral:

- Utilizar os dados sísmicos sintéticos para visualizar estruturas geológicas em subsuperfície.

Específicos:

- Simular a propagação de ondas sísmicas utilizando softwares livres;
- Construir sismogramas com dados sísmicos sintéticos;
- Visualizar possíveis estruturas nos sismogramas

REFERÊNCIAS

[1] ANDRADE, M. M. Como Preparar Trabalhos para Cursos de Pós Graduação. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

[2] BARBALHO, Célia Regina Simonetti. Metodologia do Trabalho Científico: Normas para a construção de trabalhos acadêmicos. EDUA, 2017.

[3] Bíblia Sagrada Online. Disponível em: < https://www.bibliaon.com>. Acesso em: 03/01/2019. CAMPOS, Augusto. O que é software livre. BR-Linux. Florianópolis, março de 2006. Disponível em <http://br-linux.org/linux/faq-softwarelivre>. Acesso em: 29/03/2018.

[4] DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA DE PROCESSAMENTO SÍSMICO COM

[5] INTERFACE GRÁFICA AMIGÁVEL (GêBR). Disponível em <http://www.inct-gp.org/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=7>. Acesso em: 29/03/2018.

[6] FILPO, E. Um resgate da história da GêBR. 23 de julho de 2009. Disponível em: < http://www.gebrproject.com/?page_id=94 >. Acesso em: 29/03/2018.

[7] GêBR Project, seismic processing made easy. Março de 2017. Disponível em: < http://www.gebrproject.com/>. Acesso em: 15/12/2018.

[8] GIL. A. C. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. São Paulo: Atlas, 1995.

APÊNDICE A

Questionário enviado para os alunos da disciplina de Geofísica do Petróleo.

Pergunta 1: Quantas vezes você cursou a disciplina Geofísica do Petróleo?

Pergunta 2: Já havia utilizado algum *software* de simulação além dos utilizados na disciplina de Geofísica do Petróleo?

Pergunta 3: Você sabia da existência do *Software* Livre GêBR?

Pergunta 4: Como você avalia a apresentação do *Software* GêBR?

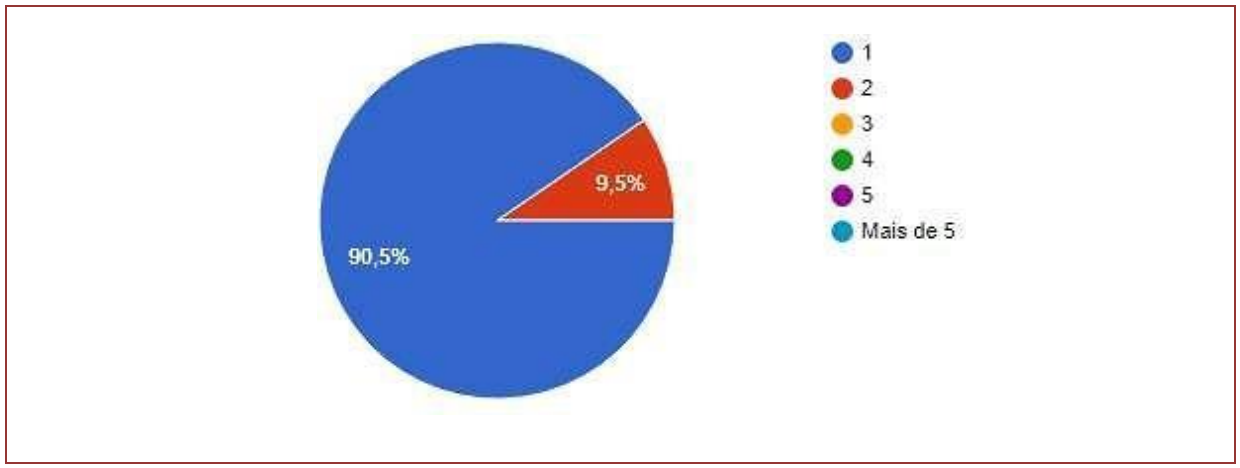
Pergunta 5: Como você avalia a facilidade de utilização do GêBR?

Pergunta 6: Associar os conhecimentos de Sísmica adquiridos na disciplina de Geofísica do Petróleo com a utilização do GêBR foi difícil?

Pergunta 7: Após a visualização de algumas estruturas no GêBR, suas dúvidas de como as ondas sísmicas se propagam em subsuperfície foram esclarecidas?

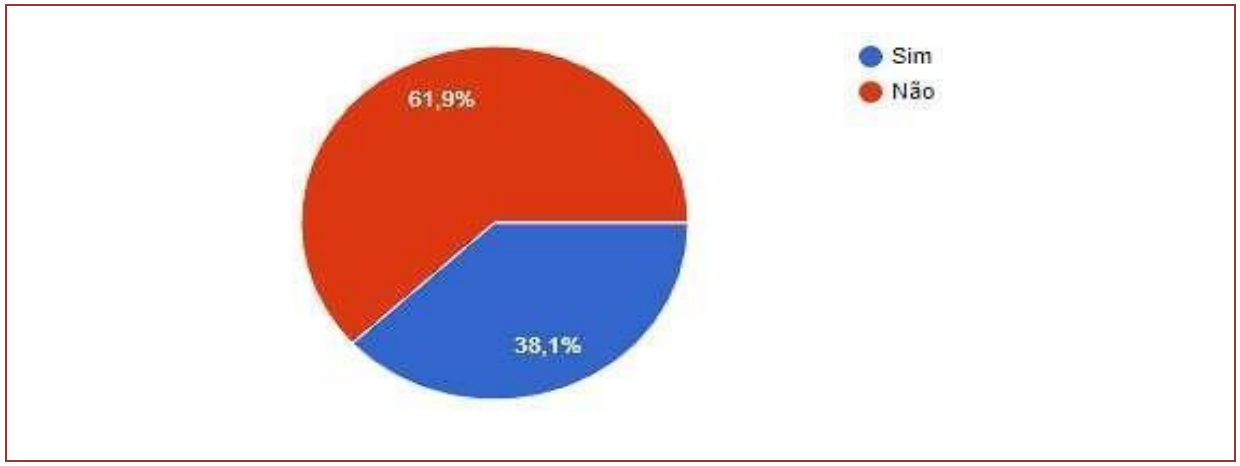
Pergunta 8: A visualização das estruturas geológicas apresentadas doi de forma clara?

Pergunta 1: Quantas vezes você cursou a disciplina Geofísica do Petróleo?



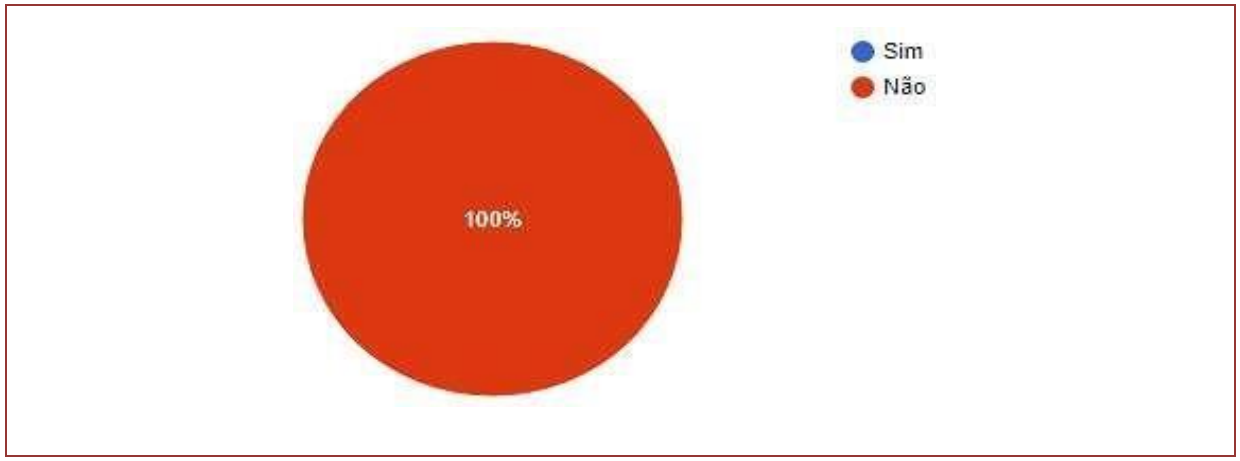
Fonte: O Autor

Pergunta 2: Já havia utilizado algum *software* de simulação além dos utilizados na disciplina de Geofísica do Petróleo?



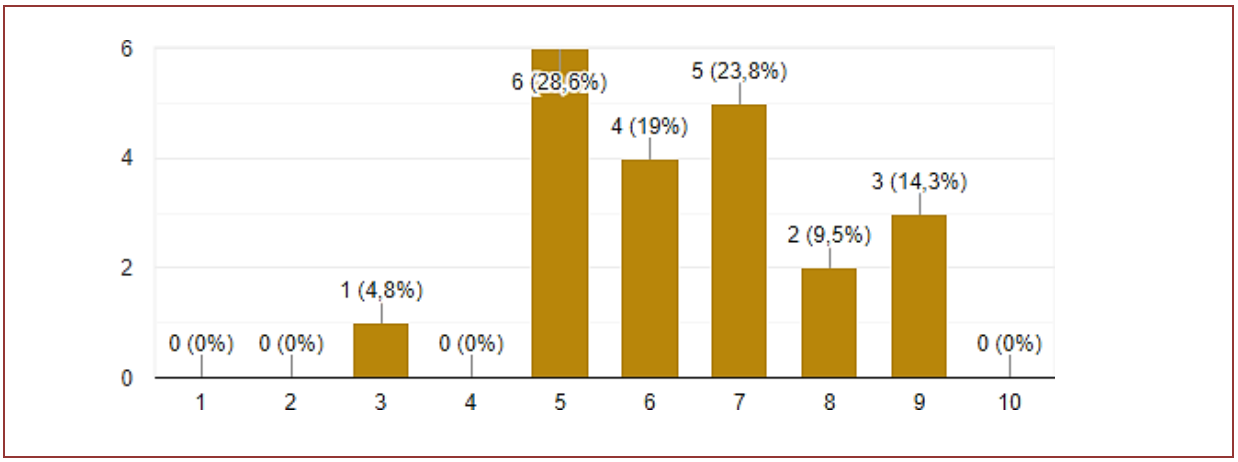
Fonte: O Autor

Pergunta 3: Você sabia da existência do *Software* Livre GêBR?



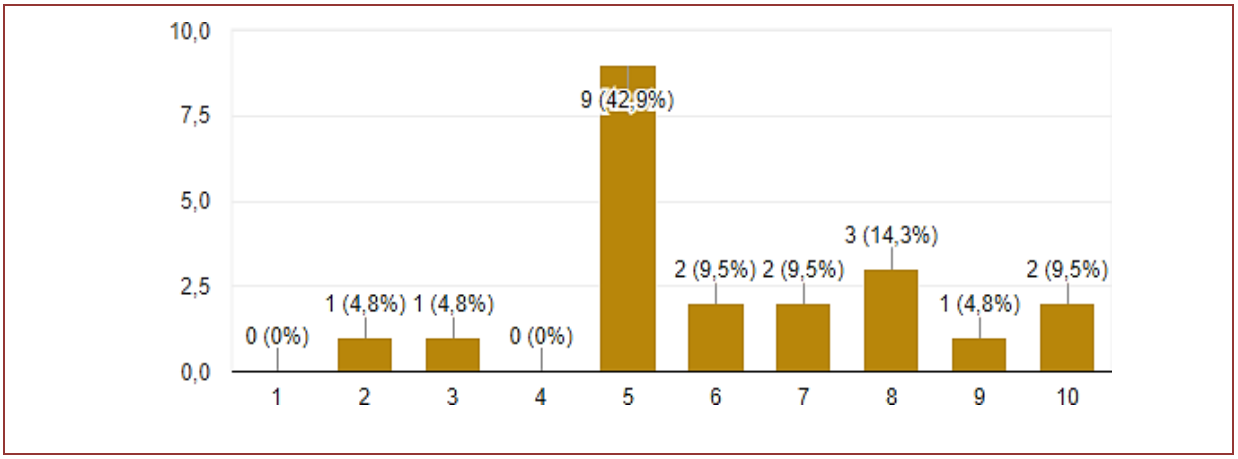
Fonte: O Autor

Pergunta 4: Como você avalia a apresentação do *Software* GêBR?



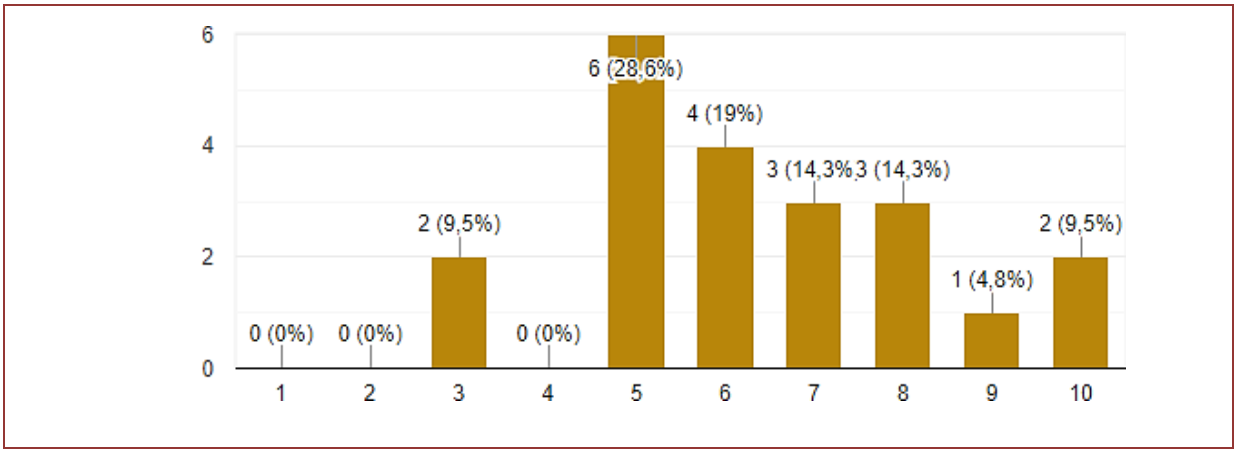
Fonte: O Autor

Pergunta 5: Como você avalia a facilidade de utilização do GêBR?



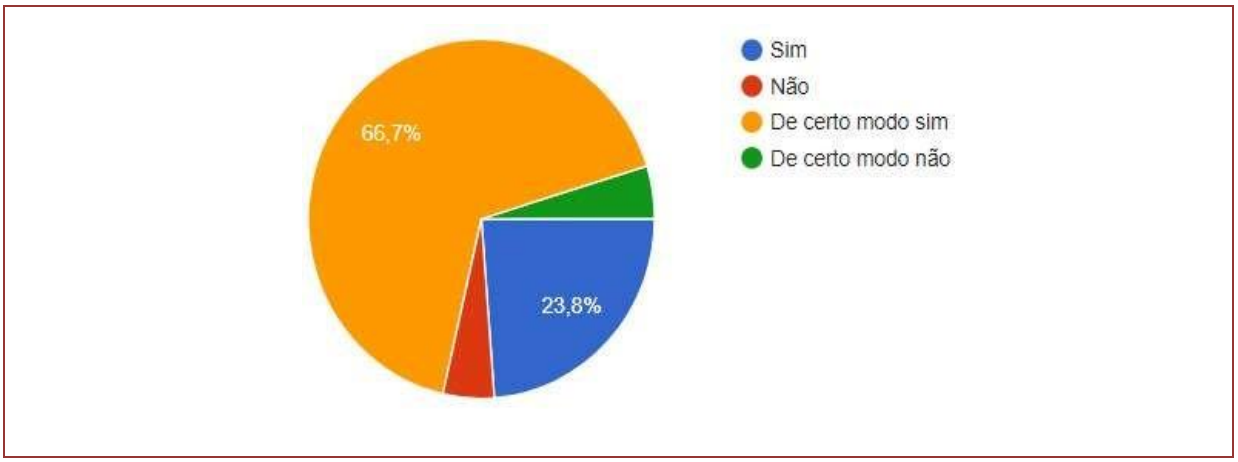
Fonte: O Autor

Pergunta 6: Associar os conhecimentos de Sísmica adquiridos na disciplina de Geofísica do Petróleo com a utilização do GêBR foi difícil?



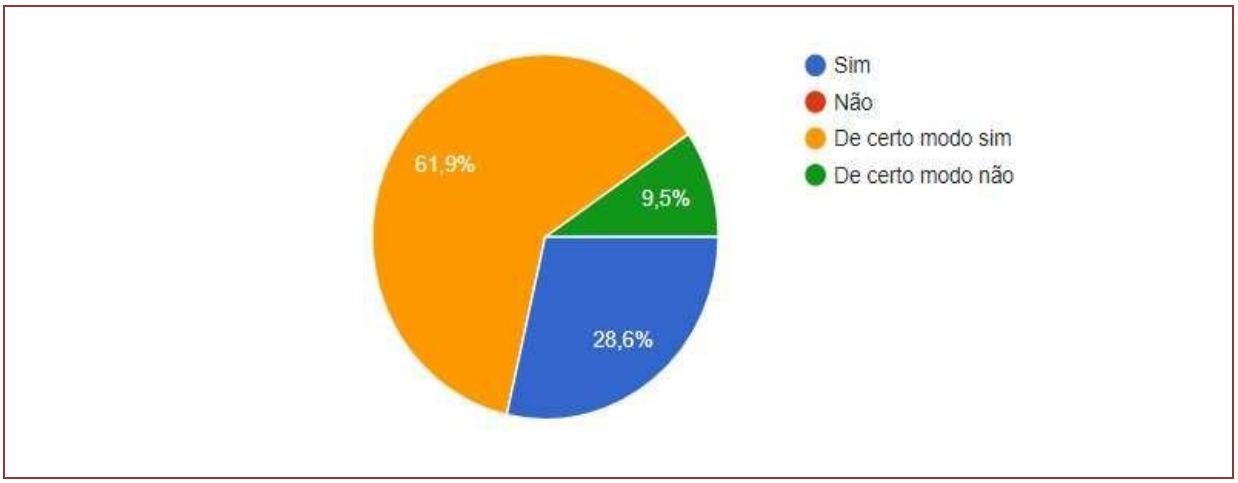
Fonte: O Autor

Pergunta 7: Após a visualização de algumas estruturas no GêBR, suas dúvidas de como as ondas sísmicas se propagam em subsuperfície foram esclarecidas?



Fonte: O Autor

Pergunta 8: A visualização das estruturas geológicas apresentadas doi de forma clara?



Fonte: O Autor

Capítulo 2

Simulacão e estudo das deformacões que precedem o rompimento de barragens através de modelos reduzidos

Daniel Trautwein
Adinele Gomes Guimarães
Geraldo Lúcio Tiago Filho

Resumo: Este trabalho apresenta um método de pesquisa para estudo experimental em modelo reduzido com o intuito de compreender melhor os fenômenos envolvidos no rompimento de barragens de terra. O objetivo é entender os comportamentos das barragens tanto ao conceber um projeto, quanto ao desenvolver novas metodologias de monitoramento. Foram construídos modelos com duas secções de barragens de terra com inclinações dos taludes nas rampas de 1:1.25 e 1:1.5, escolhidos de forma a propiciar o rompimento das barragens nos testes. Para cada modelo foram realizados três experimentos, para interpretar os fenômenos representados e conseguir calcular o desvio padrão dos dados obtidos. A partir da análise das deformações e sua relação com os pontos demarcados, foi possível indicar as áreas mais críticas, favorecendo a sugestão de locais onde deve haver maior atenção em inspeções e monitoramentos.

Palavras-chave: Barragem, Segurança, Geotecnia, Deformação, Rompimento, Acidente

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivo estudar, por meio de modelos reduzidos, o comportamento e as deformações das barragens de terra de forma a obter conhecimentos dos modos de percolação da água no maciço até o seu rompimento da barragem de forma a auxiliar a tomada de decisão, por parte dos seus empreendedores e técnicos, quanto ao sistema de monitoramento, visando reduzir riscos e ampliar a segurança.

A técnica de utilização de modelos físicos reduzidos é uma ferramenta para estudos da interação do escoamento com estruturas hidráulicas de geometrias complexas. É usada para otimização de projetos e solução de problemas que possam ocorrer durante ou após o andamento da obra. A representação de um fenômeno por meio de modelos é baseada em leis de semelhança. Para a correta modelação, é necessário que sejam representadas as ações como cargas atuantes e fenômenos em questão, de forma confiável (KANASHIRO et al 2013).

Com os modelos reduzidos desenvolvidos neste trabalho pode-se observar, estudar e analisar as deformações físicas que antecedem e geram uma anormalidade comportamental da estrutura, bem como verificar o quanto são determinantes para uma ruptura.

No caso das barragens de terra, dada a sua constituição por materiais porosos com certa permeabilidade, estabelece-se um escoamento no seu interior, em regime saturado e não saturado, que necessita ser investigado com rigor para prevenir eventuais anomalias de funcionamento ao longo da sua vida útil. Estas estruturas geotécnicas podem ser distinguidas quanto à forma como o fluido percola pelo seu interior. Para essa análise é fundamental que se estude a estrutura e seus materiais de composição. Além disso, é importante a realização de experimentos que possibilitem conhecer os seus comportamentos e fenômenos (UNAS, 2010).

O modelo proposto neste trabalho permite examinar se as deformações estruturais de uma barragem de terra ocorrem gradativamente e exponencialmente nas faces de montante, crista e jusante do barramento e a relação de proporção e tempo entre elas. E com base nas observações orientar os locais de instalação dos instrumentos de medidas dos deslocamentos tanto verticais como horizontais, que ocorrem numa barragem durante o enchimento do reservatório e durante uma ruptura devido ao fluxo de água pelo interior da barragem sem um sistema de drenagem.

2. METODOLOGIA

2.1 MODELOS REDUZIDOS PROPOSTOS

Para esse trabalho foi adotado o uso de um modelo reduzido para realizar os experimentos possibilitando a análise sistemática e simultânea dos vários pontos de uma barragem, e assim obter dados sobre seu comportamento físico quando submetida aos esforços das cargas atuantes.

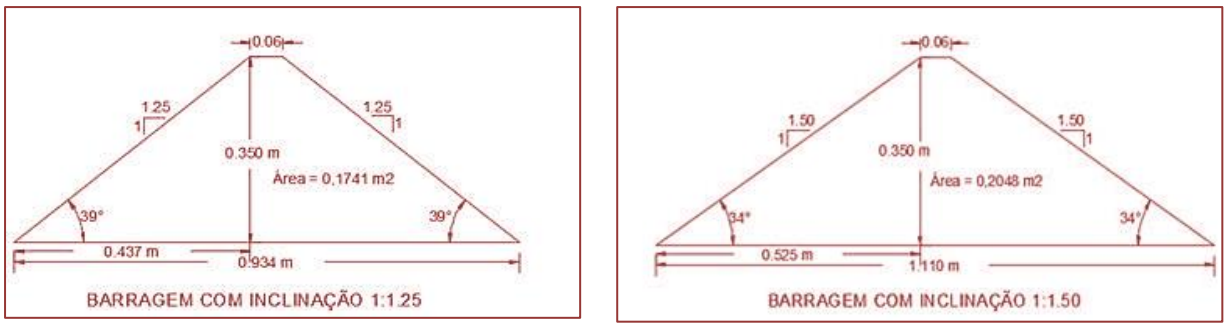
Conforme mostrado nas Figura 1 e 2, foram construídos modelos reduzidos de barragens dentro de um tanque de vidro, mostrado na Figura 3, e para o enchimento utilizou-se como fluido a água, simulando um reservatório. A partir do enchimento cronometrado e das graduações do reservatório foram feitas medidas de deslocamentos e deformações em alguns pontos, tendo como referência a linha de construção original do modelo.

Ao relacionar os dados de deslocamentos, nível do reservatório e tempo, possibilitou conclusões sobre o comportamento das barragens quanto às deformações antes de rupturas e colapsos.

Os modelos reduzidos utilizados tinham escala de 1:100 considerando uma barragem com altura de 35 m. Para realização dos experimentos foram escolhidos dois perfis de barragens , com taludes de inclinações iguais na montante e jusante de 1:1.25 e 1:1.50 que correspondem a rampas com inclinações de aproximadamente 39º e 34º, como mostra a Figura 1.

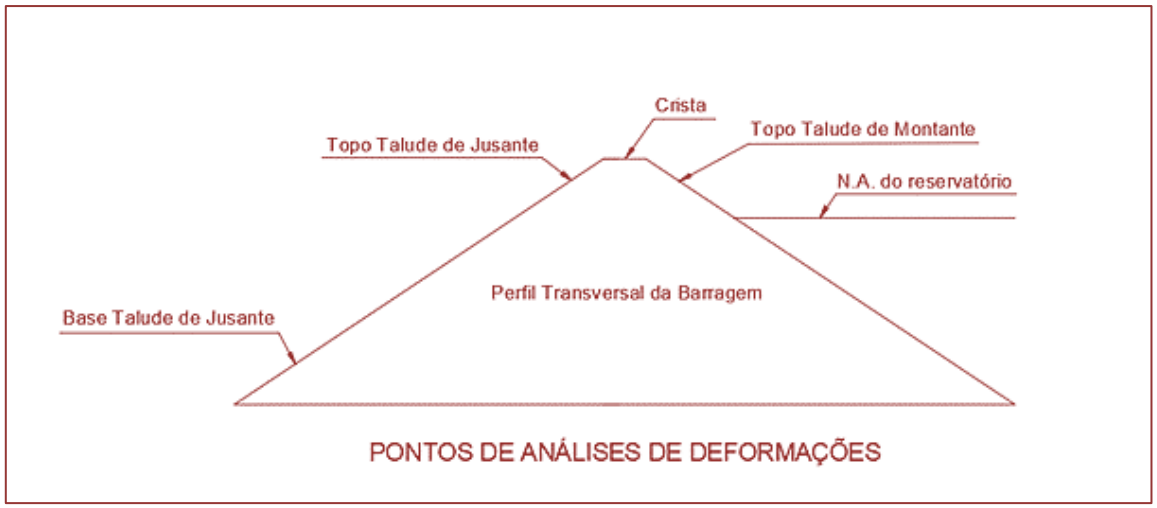
Observa-se que, tendo em vista que em barragens reais os taludes são calculados em função da resistência ao cisalhamento dos materiais e das pressões piezométricas que possam ocorrer, a escolha para os taludes de Montante e Jusante para estes dois modelos foi feita para possibilitar a ruptura dos mesmos devido à percolação da água.

Figura 1. Modelos adotados para realização dos experimentos



Os pontos de análises de deformações nos modelos foram o topo do talude de montante, crista, topo de talude de jusante e base de talude de jusante, como mostra a Figura 2. Esses pontos foram escolhidos por serem os mais comuns na observação dos deslocamentos verticais (recalques) e deslocamentos horizontais.

Figura 2. Pontos de análise de deformações



Conforme já mencionado, para realização dos experimentos, foi construído um tanque de vidro transparente de 14 mm de espessura, para que fosse possível o acompanhamento e a coleta de dados quanto às deformações. Esse tanque, mostrado nas Figuras 3 e 4, tem as seguintes dimensões: comprimento de 180,0 cm, largura de 50,0 cm e altura de 60,0cm, posicionada em uma das bancadas do Laboratório de Geotecnia da Universidade Federal de Itajubá - Unifei.

Figura 3. Esquema utilizado na realização do experimento

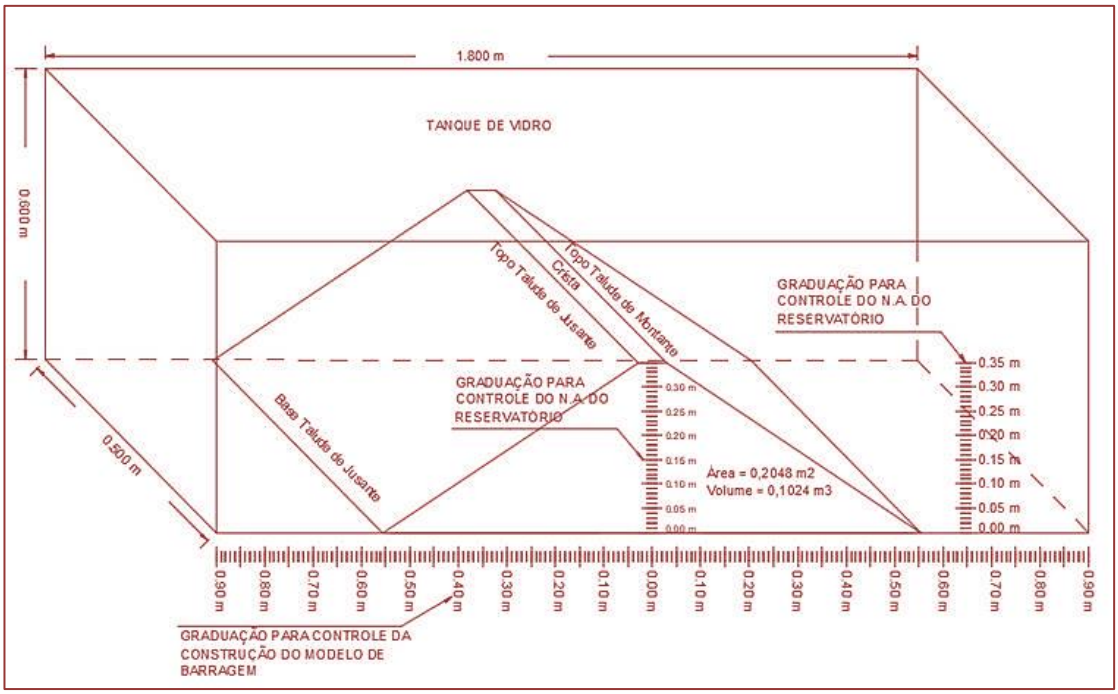


Figura 4. Tanque de vidro usado no experimento

Fez-se necessária a marcação na lateral do tanque com graduações em "cm" no sentido horizontal para definição da largura das barragens e a marcação no sentido vertical para a definição da altura. Também foi feita uma marcação de graduação na vertical, em "cm" na parte do tanque de montante do modelo reduzido, onde se acumula a água, para o sistêmico controle de seu nível (NA).

As Figura 5 e 6 mostram os dois modelos reduzidos de barragens com inclinações de 1:1.25 e 1:1.50, respectivamente, após a construção (momentos antes do início dos experimentos).

Figuras 5 e 6. Modelos reduzidos antes do enchimento

Para experimento com modelos reduzidos é necessário que as estruturas representadas possuam semelhança geométrica, para que se possa ter uma fiel representação do fenômeno e assim obter os resultados esperados (KANASHIRO et al 2013).

De maneira que a construção dos modelos fosse realizada o mais próximo possível das barragens reais, foram adotados procedimentos de peneiramento do material, compactação por camadas e controle de alinhamento e nivelamento, como mostram as Figuras 7 e 8. As imagens a seguir retratam as etapas da construção de um dos modelos.

Figuras 7 e 8. Etapas da construção dos modelos reduzidos

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Quanto ao material para a construção do modelo reduzido foi utilizado um solo coletado em uma jazida no município de Itajubá - MG. O ponto da captação do solo estava a 5,20 m de profundidade em relação à superfície com camada vegetal, a coleta foi realizada manualmente com a utilização de pás, enxadas, peneiras e baldes. Os materiais coletados foram armazenados em sacos plásticos e estocados no próprio laboratório do experimento.

De acordo com NEVES (2005), a classificação dos solos, através de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, é tratada conforme com os fundamentos da Ciência dos Materiais, tanto no campo da Geologia, quanto da Mecânica dos Solos. Ainda segundo o autor, os solos apropriados para a construção geralmente estão situados no subsolo, livres de matéria orgânica.

Os ensaios de caracterização dos solos foram realizados utilizando as seguintes normas: NBR 6457 (ABNT, 1986b) que dita sobre amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 7181 (ABNT, 1984a) a qual trata sobre a análise granulométrica, NBR 6459 (ABNT, 1984b) para determinar o limite de liquidez, NBR 6508 (ABNT, 1984c) que prescreve a metodologia para determinação da massa específica dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm e NBR 7180

(ABNT, 1984d) para a determinação do Limite de Plasticidade.

Através de ensaios laboratoriais, foi possível definir o tipo de solo e suas características geológicas e geotécnicas. Essa caracterização foi de grande importância para conhecer a composição do solo e seus limites de resistência. Os resultados dos ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do solo

Propriedade	
Argila	11 %
Silte	56 %
Areia	33 %
Limite de Liquidez	48 %
Limite de plasticidade	34 %
Teor de umidade ótimo	20 %
Peso específico seco máximo	15 kN/m^3

O material foi classificado pelo Sistema Unificado como silte elástico arenoso. Quando compactado este tipo de solos possui as seguintes características:

(i) Permeabilidade: de semi impermeável ao impermeável;

(ii) Resistência compactada e saturada de baixa a regular;

(iii) Compressibilidade compactada e saturada alta.

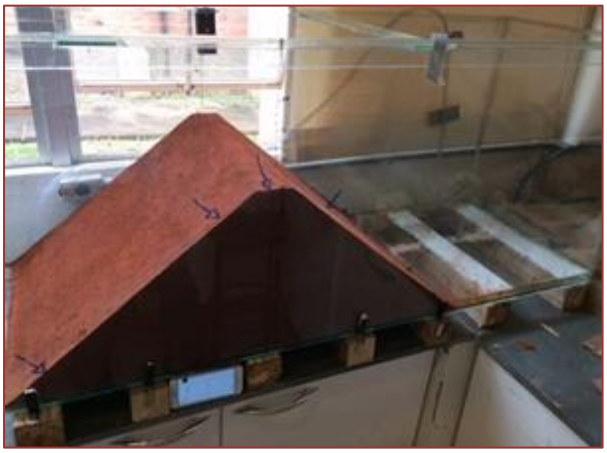
2.3. PROCEDIMENTO DO EXPERIMENTO

A água foi conduzida, com uma vazão regular até o tanque de vidro a montante do modelo da barragem, representando o enchimento do reservatório. Ao começar o enchimento foi iniciada a contagem do tempo através de um cronômetro instalado na própria bancada do experimento.

Os intervalos definidos para a coleta de dados de deformações nos pontos especificados foram definidos através das cotas de Nível d'Água (NA) do reservatório em 5cm, 7,5cm, 10cm, 12,5cm, 15cm, 17,5cm, 20cm, 22,5cm e 25cm, representando os metros de coluna de água em uma barragem real. A base do talude de montante do barramento foi utilizada como referência de inicio para as medições.

Considerando uma vazão regular o enchimento do reservatório, sempre que o NA chegava nas cotas de referência definidas, eram coletados os dados das deformações nos pontos e o tempo em que ocorreram, até o colapso da estrutura. A sequência de Figuras 9 a 16, mostra as etapas da realização do experimento, destacando as deformações e deslocamentos da estrutura até o rompimento.

Figuras 9 e 10. Início da realização do experimento, enchimento do reservatório



Figuras 11 e 12. Início das deformações, trena laser monitorando o recalque da crista

Figuras 13 e 14. Reservatório cheio, deformações e vertimento da água sobre a crista da barragem

Figuras 15 e 16. Início do rompimento e colapso total da barragem

Os dados das deformações foram coletados utilizando réguas, paquímetro e trenas a laser, todos com precisão milimétrica. Os experimentos para cada modelo de barragem foram repetidos três vezes, para que fosse possível calcular o desvio padrão e a média dos dados obtidos.

Após realização de muitos experimentos, foram validados três deles para cada tipo de modelo, descartando os demais que tiveram maiores discrepância nos dados. A combinação desses dados validados possibilitou para cada modelo de barragem as seguintes análises:

(i) relação do NA em função do tempo no enchimento do reservatório.

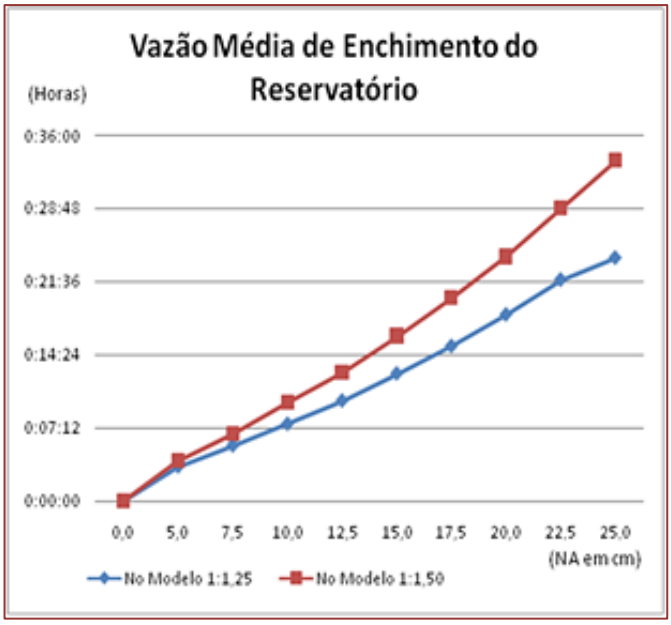
(ii) deformações nos quatro pontos analisados em função do NA.

(iii) a relação das deformações entre os pontos analisados.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O gráfico apresentado na Figura 17 mostra a média de vazão dos três experimentos para os modelos 1:1,25 e 1:1,50, respectivamente, referentes aos enchimentos do reservatório, relacionando o tempo e NA.

Figura 17. Média da vazão do enchimento do reservatório (NA x Tempo) dos dois modelos utilizados



Com os dados obtidos nos experimentos validados encontramos parâmetros comportamentais das barragens desde o início das deformações, passando por seus desenvolvimentos, chegando até a ruptura, como mostram as Figuras 18 e 19. Tais parâmetros correspondem as médias dos três experimentos para cada modelo de barragem.

Figura 18. Média das deformações nos pontos de análise do modelo de barragem 1:1,25

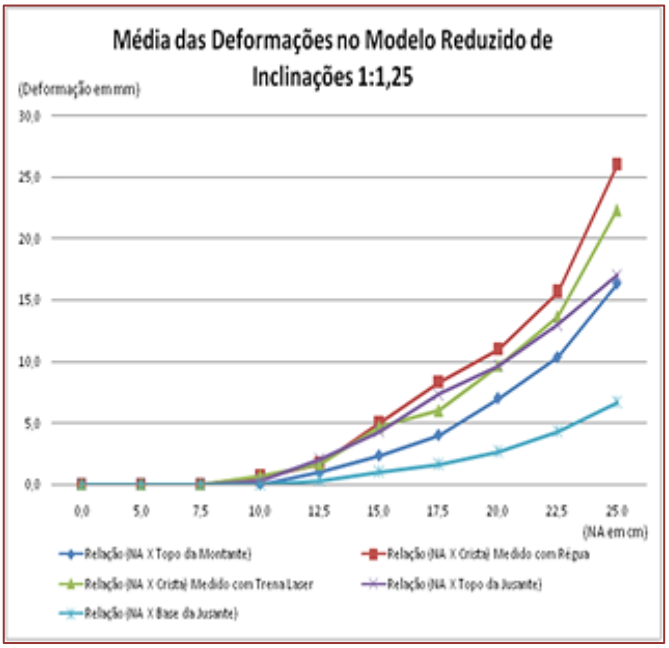
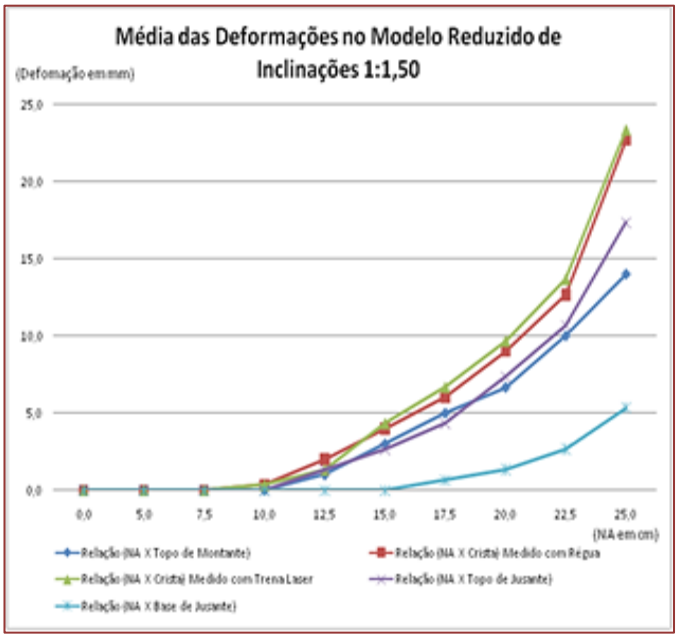


Figura 19. Média das deformações nos pontos de análise do modelo de barragem 1:1,50



A relação entre os pontos analisados e suas deformações está mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Porcentagem

Relação Entre Pontos	% maior
Crista x Topo Jusante	65,1
Crista x Topo Montante	22,1
Crista x Base Jusante	316,9
Topo Jusante x Topo Montante	56,2
Topo Jusante x Base Jusante	298,5
Topo Montante x Base Jusante	153,2

Ao analisar os gráficos de cada modelo de barragens, quanto aos comportamentos que precedem as rupturas observou-se:

- Para ambos os modelos, as primeiras deformações acontecem na crista da barragem, seguidas de deformações no topo do talude de jusante, topo de talude de montante e base do talude de jusante.
- Devido ao maior volume de material, maior peso próprio, que é o princípio do funcionamento das barragens de gravidade, o modelo 1:1.50 demonstrou maior resistência devido a demora do início das deformações e por consequência maior tempo para romper.

Verificou-se que a movimentação do talude de montante acompanha a movimentação do talude de jusante, de forma que se pode concluir que houve um deslocamento da parte central da estrutura.

As rupturas se iniciaram pelo escorregamento da base do talude de jusante, devido a saturação do material e consequente perda de resistência.

A ausência de filtros (vertical, horizontal e de pé), como é caso dos dois modelos, reduz muito a vida

operacional, capacidade de carga, capacidade de retenção de líquidos, proteção do núcleo e resistência ao efeito do *piping* das estruturas de barramento.

Considerado o NA do reservatório estável, o movimento vertical da crista (abatimento ou recalque) é o que causa o vertimento da água que irá contribuir com o rompimento da barragem.

Devido às constatações, recomenda-se efetivo monitoramento das barragens através da instalação de:

- Instrumento que informem movimentações verticais na crista. (Extensômetro, inclinômetro, deformímetro, estação total, sensores a laser).
- Instrumentos que detectem movimentações horizontais (Extensômetro, deformímetro, estações totais e sensores a laser) nos topos taludes de montante e jusante e base de jusante.
- Instalar em todo maciço, piezômetros que meçam as pressões estáticas da água percolada no maciço da barragem, principalmente a jusante dos filtros verticais.
- Medidores de vazão, tipo vertedor ou calha, na saída dos drenos.
- Devido à conclusão de haver movimentação no núcleo da estrutura recomenda-se a instalação no eixo longitudinal da barragem, de instrumentos que detectem deformação no maciço (Inclinômetros).

REFERÊNCIAS

[1] ABNT. NBR. 6457 (1986) Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.

[2] ABNT. NBR 7181 (1984) Análise Granulométrica: Solo. Rio de, 1984, 13.

[3] ABNT. NBR 6459 (1984) Solo–Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

[4] ABNT. NBR 6508 (1984). Grãos de solos que passam na peneira de, 4.8.

[5] ABNT. NBR 7180 (1984) Solo: Determinação do Limite de Plasticidade, 1984.

[6] KANASHIRO et al. (2013) Técnicas de laboratório para estudos em modelo reduzido comitê brasileiro de barragens XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens Porto de Galinhas – PE, 08 a 11 de abril de 2013.

[7] UNAS, M. S. P. et al. (2010) Estudo experimental e numérico de problemas de percolação em modelo reduzido.

[8] NEVES, C. et al. (2005) Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra–práticas de campo. PROTERRA/CYTED, IV SIACOT/III ATP, 2005.

[9] OLIVEIRA, S. et al. (2003) Monitorização e modelação do comportamento dinâmico de barragens de betão. In: VII Congresso de Mecânica Aplicada e Computacional, Universidade de Évora. 2003.

Capítulo 3

Aplicabilidade do uso de atracação por sistema de sucção em navios graneleiros no Porto de Santos

Feliphe Santos Baranowski
José Carlos Santos Santana
Sidney Evangelista Araújo

Resumo: O presente artigo utilizou-se de pesquisas de campo coletando informações com autoridade portuária do Porto de Santos, trabalhadores envolvidos nas amarrações sejam privados ou vinculados a autoridade e agências marítimas locais, levando em conta a grande diferença de tempo de amarração e retirada dos cabos nas atracações de desatracações dos navios, a gritante diferença de custos envolvidos e a segurança das pessoas durante o processo, evidenciando as vantagens do sistema de amarração de navios à vácuo, um sistema novo ainda atuante em poucos portos do mundo, porém que a princípio oferece inúmeras vantagens em relação ao sistema de amarração por cabos convencionais, o qual ainda é largamente utilizado em navios graneleiros em escalas no Porto de Santos e em vários países do mundo.

Palavras-chave: Amarração de navios 1. Porto de Santos 2. Amarração à vácuo 3. Redução de Custos 4.

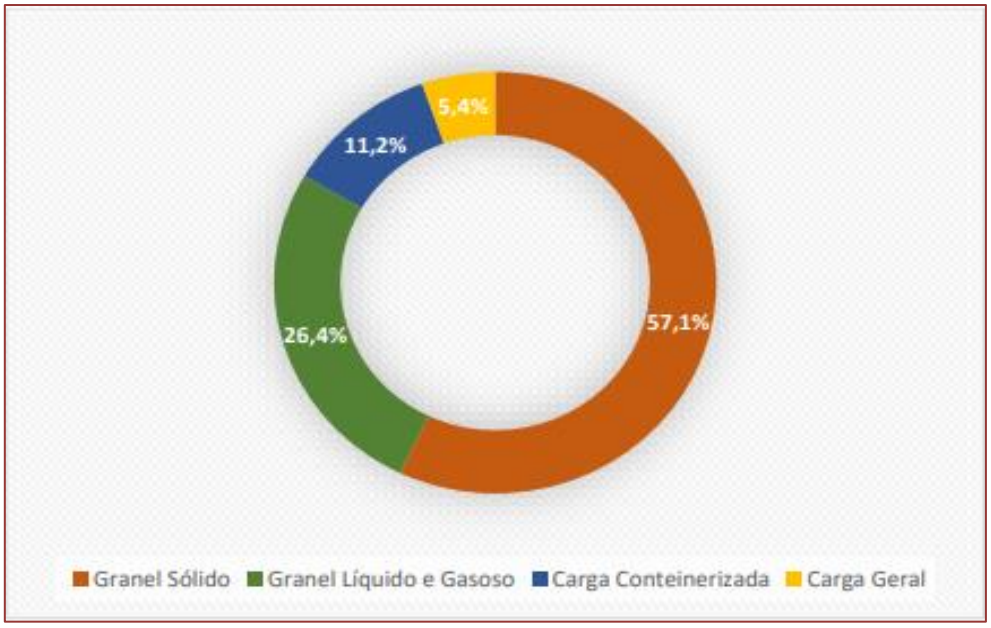
1. O PORTO DE SANTOS E OS GRANÉIS SÓLIDOS NO BRASIL

O Brasil é um país conhecido por ser o celeiro mundial e detentor do terceiro lugar, no ano de 2018, como maior exportador de produtos agrícolas do mundo, de acordo com o Relatório Estado de Mercados de Commodities Agrícolas da Organização das Nações Unidas (ONU). Também conforme a ONU, em seu relatório de perspectivas agrícolas de 2015, elaborado em parceria com a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), o Brasil deve tornar-se, em 2024, o maior exportador de produtos agrícolas do mundo.

O Porto de Santos está estrategicamente localizado a aproximadamente 70 quilômetros de distância de São Paulo, a maior metrópole do país e detém uma privilegiada malha logística que o coloca a poucas horas de fábricas, rodovias, acessos ferroviários, hidrovias e campos de plantio. Conforme dados da Santos Port Authority (SPA), o porto já atingiu cerca de 30% de contribuição na balança comercial brasileira, e visa atingir a marca dos 40% nos próximos anos, principalmente após a conclusão de alguns projetos de modernização.

Dentre as principais cargas comercializadas no Porto de Santos estão os granéis sólidos, conforme mostra o Gráfico 1, sobre a movimentação de carga aquaviária no Brasil, no 1° trimestre de 2020.

Gráfico 1: Segmentação das cargas exportadas por modal aquaviário no 1° trimestre de 2020



Fonte: Boletim Aquaviário ANTAQ – 1° Trimestre de 2020.

Levando em conta o fato de que portos trabalham aproximadamente 24 horas por dia, 360 dias por ano ininterruptamente, faz-se necessária a agilidade nos processos e procedimentos visando redução de custos e ganhos em competitividade, que resultarão em empregos e no avanço da economia em si. Com isso, o presente artigo tem como base de sua pesquisa uma pequena parte de um dos processos envolvidos nesta enorme área de comércio marítimo internacional, sendo como foco o processo de amarração dos navios no cais acostável.

Este procedimento consome um tempo considerável, que será exposto e mensurado no corpo deste artigo, demonstrando que novas tecnologias, que possam resultar em redução desse tempo e também no risco de acidentes, podem ser bastante vantajosas para os terminais marítimos de granel. Entre essas tecnologias, será apresentada a de atracação por equipamento de sucção a vácuo, desenvolvido pela empresa internacional Cavotec, na substituição de amarrações convencionais por cabos.

2. PONDERAÇÕES SOBRE A AMARRAÇÃO CONVENCIONAL

De acordo com estudo de Ramiro (2014), a amarração via cabos é antiga e com o crescimento das dimensões dos navios em comprimento, largura, boca, impulsionadas pela demanda de cargas decorrente do crescimento populacional, veio o aumento da sua área vélica.

Assim sendo, fica evidente uma necessidade em demasia no número de material utilizado visando garantir a segurança na atracação pois quanto mais amarras estiverem fazendo a conexão entre o navio e o cais, menor o movimento do navio. No entanto isso se traduz em maiores custos pois, além da própria amarra, o armador fica responsável pelos custos dos elementos, como por exemplo os tambores, que são necessários para se passar mais uma amarra. Além disso vale ressaltar ainda endossado pelos estudos de Ramiro (2014) que quanto mais amarras acrescentar maior se torna o tempo de atracação, trazendo ônus a operação.

Ramiro (2014) reforça que as forças exteriores responsáveis pela movimentação do navio geram uma força de reação nas amarras, os guinchos, os cabeços duplos, os roletes e as buzinas também serão submetidos a essa pressão deformando-as ao longo do tempo acrescentando-se ainda as forças gerada pela força da água, corrente e ondas ou outro navio passando próximo ao local de atracação.

Os acidentes são mais frequentes do que o postulado pelas mídias eletrônicas, mas sua importância só fica em foco quando levam a lesões graves ou a morte e esse comportamento não é diferente em todos os portos do mundo e isso se justifica pela adoção de proteção de imagem por parte dos portos e organizações responsáveis.

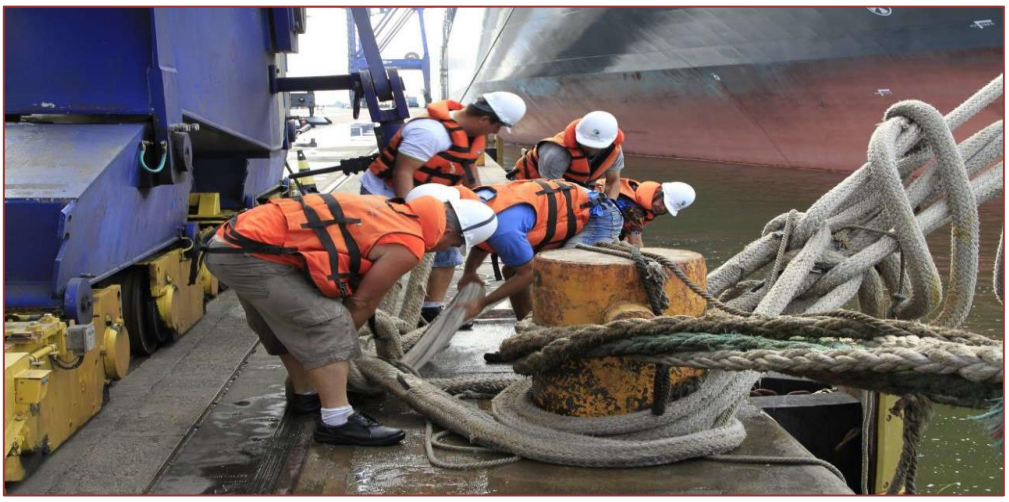
Em média, leva uma hora e meia para concluir uma operação de atracação de um navio através do processo de amarração via cordas, onde o número de operadores e ajudantes chega a ser demasiado, devido as complicações no manuseio de material volumoso e excesso de peso, o que torna a função perigosa pela necessidade de grande esforço físico no deslocamento de cordas grossas entre o navio e o costado (BUSCH VACUUM SOLUTIONS, 2016).

3. TENDÊNCIAS DE AUTOMATIZAÇÃO

A prática tradicional de amarração com corda manteve-se praticamente inalterada ao longo do tempo, mas a realidade atual do transporte internacional exige mais competitividade e dinamismo, com dezenas de milhares de navios atendendo massivamente ao comércio internacional de bens de consumo e produtos a granel. Villa Caro notou que os navios porta-contêineres se mantiveram em evolução ficando cada vez maiores, porém em muitos portos seu tempo de atracação ainda ultrapassa os 30 minutos, por ser ainda um processo antiquado e com forte presença humana, diferente das novas tecnologias que seguramente podem amarrar o navio em segundos ou poucos minutos.

Uma novidade recente nesse tipo de equipamento é o chamado Gancho de Amarração de Desengate Rápido (QRMH), desenvolvido por exemplo pela empresa Mampaey Offshore Industries BV. O sistema é capaz de operar com segurança cargas de trabalho de 40 até 200 toneladas, com mais rapidez, sendo uma possível solução para amarração de embarcações. O processo mostra-se mais dinâmico que um cabeço normal, dispensa a necessidade de soltar as cordas uma a uma, já que elas se desprendem de uma só vez. No entanto o método ainda é dependente da utilização de cordas e todos os acessórios necessários, o que não condiz com o cenário da logística operacional atual das operações que envolvem risco e perda de tempo (MAMPAEY, 2017).

Figura 1 – Amarração das espias do navio em uma defensa tipo cabeço



Fonte: Folha do Litoral (2017)

Conforme informações obtidas através da própria autoridade portuária (SPA – Santos Port Aurhority) em 2018 no seu website, a solicitação de atracação pelo meio eletrônico é um começo onde ficou constatado uma economia na ordem de R$ 90 mil por ano no porto de Santos, na logística que envolve esse processo, e ganhos ambientais com a eliminação do uso do papel, mas o que nos cabe salientar aqui é a sua total inexistência pelo lado operacional enquanto setores burocráticos estão alinhados com muitos portos de renome no mundo.

Ainda em relação ao quesito custo, são inúmeros os fatores que contribuiriam para um avanço econômico e financeiro a nível mundial e até na redução de utilização de algumas matérias primas. Durante a estadia em um porto, existem inúmeros custos arcados pelo armador do navio que são repassados em cadeia comercial aos afretadores, exportadores, compradores e produtores. Pode-se citar, por exemplo, a estadia e uso do navio pago pelo afretador do navio ao armador, chamado de demurrage, caso ultrapassar o acordado, ou dispatch , caso for menor que o esperado. Este custo é alto e, se não houver atenção, pode inviabilizar uma operação de afretamento de navio, caso a espera seja muito grande na área de fundeio se o berço de atracação estiver ocupado, incluindo seu tempo atracado e operante. Destaca-se o fato que o navio pode entrar em estado de demurrage por alguns minutos e com isso, perder algum possível desconto que haveria em cima da taxa de estadia caso o navio estivesse em estado de dispatch.

Tabela 1:Taxa de sobre estadia por atraso

DEMURRAGE E DISPATCH PARA NAVIOS GRANELEIROS (DIA)	
Quando em Dispatch pode haver 50% de desconto	
Navio 1	US$ 14.000,00
Navio 2	US$ 26.000,00
Navio 3	US$ 11.000,00
Navio 4	US$ 34.000,00
Navio 5	US$ 11.000,00
Navio 6	US$ 13.000,00
Navio 7	US$ 12.000,00
Navio 8	US$ 20.000,00
Navio 9	US$ 16.000,00
Navio 10	US$ 28.000,00
Navio 11	US$ 28.000,00
Navio 12	US$ 25.000,00
Navio 13	US$ 18.000,00
Média	**US$ 21.076,92**

Fonte: Dados obtidos através de pesquisa de campo

Além de todos os custos citados, pode-se visualizar um cenário macro da situação, levando em conta taxas como infraestrutura portuária paga ao porto e suas autoridades, engajamento de trabalho avulso por períodos, taxas de utilização do berço e suas estruturas como defensas, contratação de vigias portuários durante a estadia do navio no berço de atracação, consumo de combustível, e outras. Isso evidencia o nível de relevância da agilidade no giro dos navios para os terminais, pois a diminuição dos line-ups é um atrativo para os embarcadores, que além de economizarem nas taxas de armazenagem e elevação de cargas, os mesmos por muitas das vezes decidem deslocar o navio para determinado berço de atracação levando em conta a agilidade e o baixo tempo de espera para atracação. Este fato é ratificado por algumas empresas que incluem como meta principal para participação de lucros a maior rotatividade de navios no berço.

Para os armadores, considerando que todo maquinário responsável pelo manuseio das cordas é de domínio e hospedagem do navio, este estaria ocupando uma área do convés de utilidade para a acomodação de carga. Ou seja, a instalação de um sistema automatizado na margem de atracação representaria ganho de espaço e uma possibilidade adicional em peso para colocação de cargas.

Figura 2 – Gancho de desengate rápido

Fonte: Prosertek (2016)

No porto de Santos, por muito tempo a amarração de navios na maioria dos terminais portuários, exceto os privados era de competência da Autoridade Portuária, hoje denominada Santos Port Authority, porém, após 10 de Abril de 2020, esta competência foi delegada para empresas privadas, nos terminais que são arrendados. A competitividade ainda não é grande, tendo em vista o pouco tempo de mudança no procedimento e regulamento.

O número de operadores envolvidos nesse processo de atracação varia de acordo com o tamanho da embarcação: quatro pessoas para navios de até 100 m; oito para embarcações entre 100 m e 250 m; e 12 ou até 14 para navios maiores ou que envolvam cabos de aço (CNT - 29/07/2019).

Durante as manobras de atracação, as cordas e os cabos estão a maior parte do tempo sob tensão. Por esse motivo, os membros da equipe deverão estar sempre posicionados em lugares seguros, onde não sejam alcançados pelo golpe de um eventual chicoteio, ocasionado pela ruptura de um cabo de amarração (PORTOS DO PARANA -31/01/2020).

Cabos de náilon e polipropileno são os mais utilizados devido a sua maior durabilidade e baixa absorção de água e resistência a deterioração. A inspeção é diária, para evitar acidentes, na qual se observa, por exemplo o número de cordões partidos, que indica uso excessivo e redução de resistência (PORTOS DO PARANA -31/01/2020).

Após 10 anos de uso, os cabos devem ser trocados, o que exige recursos financeiros e conhecimento técnico para que a substituição seja bem executada e, com as limitações no orçamento, os portos buscam serviços de reparos expondo ainda mais os operadores a riscos intempestivos (PORTOS E NAVIOS - 05/06/2017).

Uma amarração automatizada maximizaria a disponibilidade operacional, reduzindo os custos de infraestrutura para os terminais e armadores, além de melhorar a segurança. (PORTOS E NAVIOS – JULHO DE 2017 EDIÇÃO 678).

O sistema MoorMaster™ é composto por ventosas de vácuo de expansão hidráulica instaladas na parede do cais. Fixam -se à parede do navio e geram imediatamente um vácuo poderoso com uma força de sucção de até 20 toneladas métricas. Esta técnica possibilita arrastar e fixar com segurança ao costado até mesmo os maiores navios, com capacidade de até 450.000 toneladas métricas. Por meio deste procedimento, amarração do navio via este tipo de automação reduziu-se a apenas 30 segundos. Por sua vez ainda elimina as difíceis manobras com o motor do navio ou com o rebocador, reduzindo de forma gradual o consumo de combustível e as emissões de escape no porto. Com implantação do sistema MoorMaster™ o cenário de adversidade na atracação e desatracação no porto de Santos estaria findado já que no processo implementado pela Cavotec esse procedimento leva apenas trinta segundos (BUSCH VACUUM SOLUTIONS -13/09/16).

As ventosas de neoprene flexíveis fornecem uma aderência segura em superfícies afetadas por ferrugem, costuras de solda ou deformação. Quando as ventosas tocam o casco do navio, as bombas de vácuo imediatamente criam um poderoso vácuo. Além disso uma reserva de vácuo também é fornecida para segurança adicional. Ao permanecer no porto, o navio não é apenas amarrado com segurança, mas também mantido a uma distância ideal da parede do cais. Isso fornece proteção para o casco do navio e as defensas da parede do cais (BUSCH VACUUM SOLUTIONS -13/09/16).

No decorrer de vinte anos após o primeiro sistema entrar em serviço, o MoorMaster ainda é a única tecnologia de ancoragem a vácuo comprovada e amplamente utilizada em aplicações a granel, manuseio de contêineres, fechaduras, Ro/Ro e navio-a-navio e em valores atuais já é responsável por mais de 798.266 amarrações em países como: Australia, Canada, Estados Unidos, Finlândia e Reino Unido entre outros (BUSCH VACUUM SOLUTIONS -13/09/16).

Figura 3 – Atracação com defensas a Vácuo

Fonte: electrichybridmarinetechnology (19/07/2021)

4. RESULTADOS

A partir de 2012, a automatização começou a ser implantada no Santos Port Authority através da tecnologia OCR (Optical Character Recognition) no terminal TECONDI, onde onze dos 20 pórticos de reconhecimento de caminhões foram erguidos possibilitando a monitoração em tempo real sem intervenção humana. Logo em seguida veio a atracação pelo meio eletrônico, onde foi constatada uma economia na ordem de R$ 90 mil por ano na logística do porto e ganhos ambientais com a eliminação do uso do papel.

Dessa forma fica evidenciado que, pelo lado burocrático o porto alinhou-se com outras localidades no mundo, no entanto pelo lado operacional, referente às defensas de atracação, constataram-se a total inexistência de projetos a longo e médio prazos.

Apesar das análises comprovarem rentabilidade, ganho em tempo e organização nos processos logísticos tanto aos terminais como ao porto em geral, a implementação das defensas automatizadas pode ser uma realidade para terminais de poder aquisitivo alto, ou seja, não sujeito a altos e baixos decorrente da oscilação do mercado. No entanto, na visão de proprietários de terminais de menor expressão não é o caso de confiar na tecnologia, mas de segurança no quesito custos do processo de automatização, já que seus ganhos e despesas de receita não apresentam volume suficiente para correr o risco ressaltando ainda os custos na importação de peças caso haja uma quebra e a empresa não tenha filial no Brasil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atracação de navios desenvolveu-se em módulos, ou seja, de acordo com a carga a ser manuseada pelo terminal e não como um projeto de logística para a mobilidade geral dos portos.

O mundo globalizado introduziu uma nova premissa, denominado integralização dos processos, impulsionando os portos para a automatização de setores portuários, e sua adoção que pode resultar em êxito ou fracasso para os terminais.

No que tange a automatização das defensas, o que mais pesa para o Porto de Santos é não haver, ou estar evidente, um entendimento entre os terminais e a Santos Port Authority (SPA), se a médio ou longo prazo a atracação automatizada será fundamentada pelas partes envolvidas e em que moldes se dará esse processo de construção pelo lado burocrático.

Parte do tempo ganho na automatização dos gates e setores administrativos acaba por se perder pela falta de automatização das defensas, que acabam consumindo esse ganho na morosidade das operações de atracação via cordas. Esse é um exemplo de como uma peça defeituosa compromete o bom funcionamento das demais e o quanto esse obstáculo está consumindo valores expressivos para cidade, terminais e o próprio porto.

Portanto o custoso tanto para os Terminais e o Porto de Santos não é a opção por uma defensa automatizada, mas a falta de uma atitude que leve a construção de um documento em lei para o porto de Santos e do Brasil onde esteja vinculado as responsabilidades e obrigações das partes interessadas. A morosidade na atracação no porto de Santos não é um evento localizado, mas diz respeito a saúde financeira do próprio país visto sua área de influência e por ser responsável pela exportação de cerca de 30% porcento do que o Brasil produz.

Assim sendo as defensas automatizadas para o Porto de Santos se traduz em benefícios para muitas regiões no país onde seu êxito em uma nova logística operacional replicaria seus ganhos financeiros em muitas localidades produtoras do Brasil.

REFERÊNCIAS

[1] KNOBLAUCH, Higor da Silva. AVALIAÇÃO DE RISCOS APLICADA À ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA - PORTO DE ITAJAÍ-SC. 2017. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico de Joinville, Joinville, 2017.

[2] RAMOS, Ramiro Fernandes. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE NAVIOS ATRACADOS QUANDO SUBMETIDOS À FORÇA DO VENTO. 2018. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Ufrj/Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2018.

[3] CARO, Raúl Villa. SISTEMAS DE AMARRAÇÃO EM NAVIOS: SITUAÇÃO ATUAL E EVOLUÇÃO FUTURA. 2015. 281 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Naval e Oceana, Universidade da Coruña, 2015.

[4] MAMPAEY. AMARRAÇÃO & ATRACAÇÃO INOVADORAS. 2017. Disponível em: https://mampaey.com/wp-content/uploads/2017/01/Mampaey-Brochure-Quick-Release-Mooring-Hooks-iMoor-System-Portugese.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

[5] PORTODESANTOS. Codesp elimina uso de papéis para atracação. 2018. Disponível em: http://www.portodesantos.com.br/2018/12/10/codesp-elimina-uso-de-papeis-para-atracacao/. Acesso em: 13 maio 2021.

[6] PORTOS DO PARANÁ (Paraná). PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA NA AMARRAÇÃO, DESAMARRAÇÃO E PUXADA DE NAVIOS. 2020. Disponível em: http://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/po-diramb-020_amarracao_navios_2.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

[7] SILVA, Janaina Rubia e. DEFENSAS MARITIMAS. 2019. Disponível em: https://twscomex.com.br/blog/artigo/defensas-maritimas. Acesso em: 13 maio 2021.

[8] PORTOS E NAVIOS. Recursos Escassos. 2017. Disponível em: https://www.portosenavios.com.br/-flip/2017/pn678julho2017/files/assets/common/downloads/publication.pdf. Acesso em: 13 maio 2021.

[9] BUSCHVACUUM. O vácuo substitui os cabos de tração - Sistema rápido e seguro de amarração de navios. 2016. Disponível em: https://www.buschvacuum.com/br/pt/news/vacuum-replaces-towing-ropes-quick-and-secure-ship-mooring-system. Acesso em: 13 maio 2021.

[10] COVATEC. Automated mooring. 2020. Disponível em: https://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/automated-mooring. Acesso em: 13 maio 2021.

[11] TEIXEIRA, Carlos. Manobrar grandes navios requer cuidado e prática. 2019. Disponível em: https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/manobrar-grandes-navios-requer-cuidado-e-pratica. Acesso em: 13 maio 2021.

[12] KEEDI, Samir. O porto de Santos 2024 e seus problemas. 2015. Disponível em: https://dcomercio.com.br/categoria/opiniao/o-porto-de-santos-2024-e-seus-problemas. Acesso em: 13 maio 2021.

[13] FOLHADOLITORAL. Amarração de navios só pode ser realizada por empresas credenciadas. 2017. Disponível em: https://folhadolitoral.com.br/amarracao-de-navios-so-pode-ser-realizada-por-empresas-credenciadas. Acesso em: 13 maio 2021.

[14] PROSERTEK. La seguridad en el puerto marítimo. 2016. Disponível em: https://prosertek.com/es/blog/la-seguridad-puerto-maritimo/. Acesso em: 13 maio 2021.

Capítulo 4

Análise da influência da disposição geométrica dos eixos no custo de produção de um redutor de velocidade

Lúcio Flávio Souza Oliveira
José Carlos de Lima Junior
João Bosco de Aquino Silva
Vinícius Antônio Cardoso Mendes
Halane Maria Braga Fernandes Brito

Resumo. O estudo vai consistir na análise da influência da disposição geométrica de um conjunto de engrenagens no custo de manufatura de um redutor de velocidade. Para isso, analisou-se um redutor composto por um conjunto de cinco engrenagens, sendo que uma delas é do tipo de dentes retos e as demais são do tipo helicoidal. Esse estudo consistiu em encontrar a disposição dos eixos que minimize o custo de manufatura do produto, no entanto, essa análise será de forma indireta, não será calculado o custo de produção em si, mas será avaliado o ponto de mínimo custo. Neste sentido, iremos buscar um ponto que, simultaneamente, proporcione um menor diâmetro dos eixos, rolamentos mais simples e menor volume da caixa que envolve os elementos. Concluiu-se, neste estudo, que há sim uma correlação entre a disposição dos eixos e o custo envolvendo a manufatura da caixa de redução. Diante disso, sugere-se à equipe do Fórmula SAE UFPB, a revisão geométrica do redutor de velocidade de seu veículo, buscando uma maior eficiência econômica e uma leve redução de peso do veículo.

Palavras chave: Minimização de custos. Redutores de velocidade. Análise geométrica.

1. INTRODUÇÃO

Desde sempre, as principais funções dos redutores de velocidades são, obviamente, a redução de velocidade, e por consequência a multiplicação do torque e, a transmissão de potência. Geralmente, dimensiona-se um redutor de velocidade buscando-se apenas atender aos requisitos de potência necessária ao deslocamento de uma máquina, torque e velocidade. Não se busca, em princípio, realizar uma análise geométrica do redutor buscando atender tanto aos requisitos elencados acima quanto a minimização de custos advinda dessa análise.

Neste sentido, esse trabalho busca compreender a influência da disposição geométrica dos elementos que compõe um redutor de velocidade no seu custo de produção. Basicamente, o custo relativo à manufatura do produto é composto do custo de produção dos eixos e das engrenagens, da manufatura da caixa e da compra dos rolamentos. Veremos adiante que o custo relativo à confecção das engrenagens é o mesmo para as mais diversas posições relativas dos eixos. Logo, o que vai influenciar no custo do produto são os três outros itens.

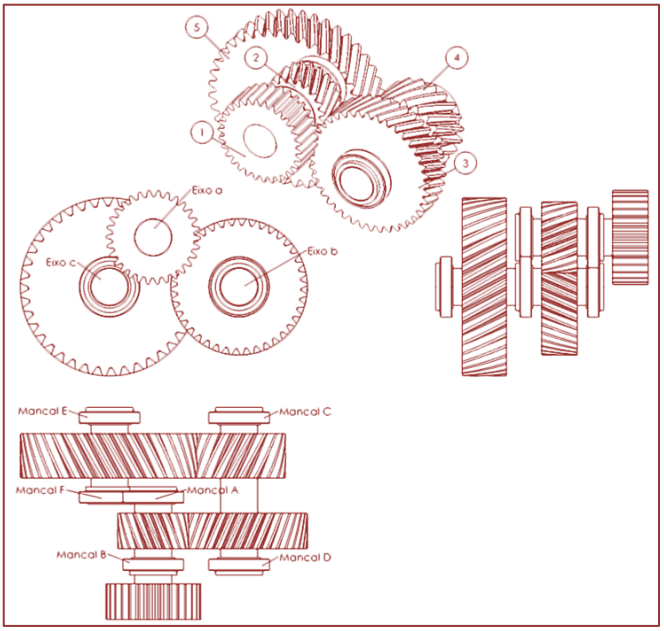
1.1. OBJETIVOS

Esse estudo buscou encontrar a melhor posição relativa dos eixos que compõe um redutor de velocidade a fim de minimizar os custos. Para isso analisou-se as curvas dos momentos fletores dos eixos em diferentes posições angulares, buscando-se àquela que produza os menores valores do momento. Analisou-se, ainda, os esforços realizados sobre os rolamentos que estão montados sob os eixos e, por último fez-se um estudo de minimização da caixa redutora, visando a redução do seu volume e, consequentemente, a redução do custo.

2. METODOLOGIA

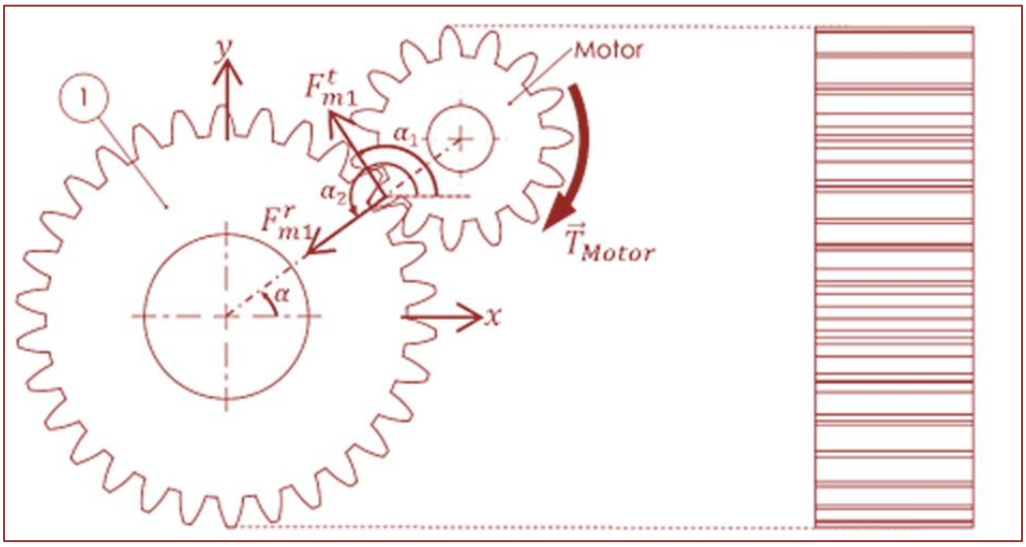
O redutor de velocidade analisado deve transmitir uma potência de 6 kW e uma velocidade de saída de 145 rpm. O mesmo possui cinco engrenagens, enumeradas de 1 a 5, que devem proporcionar uma redução de 8:1. O desenho do redutor de velocidade é apresentado na Fig. 1.

Figura 1. Disposição geométrica do trem de engrenagens



A engrenagem que acopla à engrenagem (1) é a que sai do motor. Inicialmente, vamos analisar qual é a melhor posição angular que se deve colocar esta engrenagem, a do motor, a fim de minimizar o momento fletor sobre o eixo (a) e, também, minimizar a carga sobre os mancais (A) e (B). Portanto, vamos realizar uma análise de forças sobre as engrenagens de acordo com a Fig. 2.

Figura 2. Interação de força entre as engrenagens do motor e a engrenagem (1)



De acordo com a Fig. 2, o ângulo α é medido entre o eixo das abscissas, x, e a linha pontilhada que liga o centro dos eixos, portanto, o ângulo α, corresponde à posição angular do eixo do motor em relação ao eixo de entrada do redutor de velocidade, eixo (a), medido a partir do eixo x do plano cartesiano. Como o par de engrenagens da figura acima é do tipo de dentes retos, apenas se estabelecerá forças tangencias e radiais sobre as mesmas, a força axial é nula. As componentes da força que é exercida pela engrenagem acoplada ao motor na engrenagem (1) são dadas pela Eq. (1).

$$\vec{F}_{m1} = \begin{bmatrix} F^t_{m1} \cdot \cos(\alpha_1) + F^r_{m1} \cdot \cos(\alpha_2) \\ F^t_{m1} \cdot \sin(\alpha_1) + F^r_{m1} \cdot \sin(\alpha_2) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

O mesmo procedimento foi realizado para o par de engrenagens (2) e (3) e também para o par (4) e (5). Os diagramas de corpo livre das engrenagens, assim como as componentes das forças são fornecidas pelas Fig. 3 e Fig. 4 e pelas Eq. (2) e Eq. (3), respectivamente.

Figura 3. Interação de força entre as engrenagens (2) e (3)

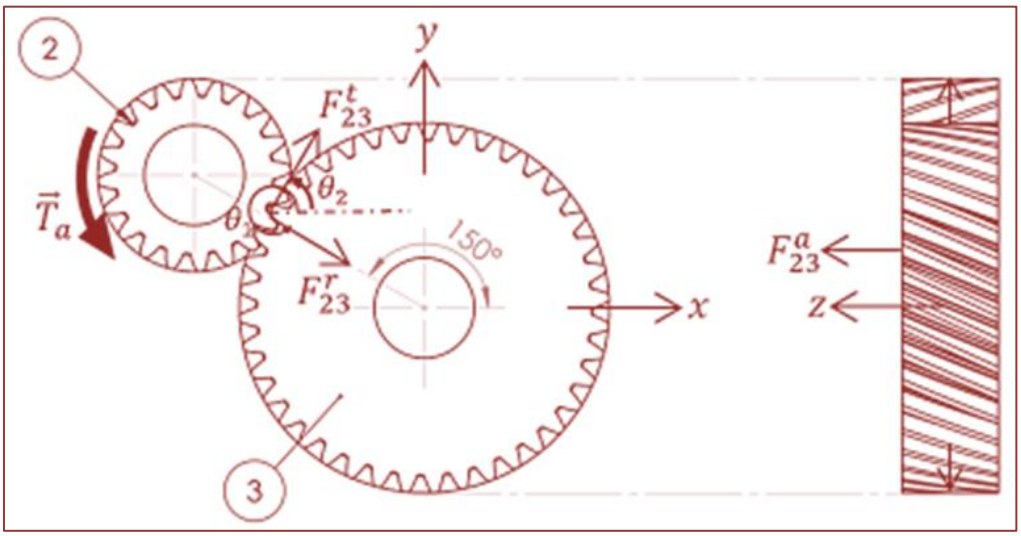
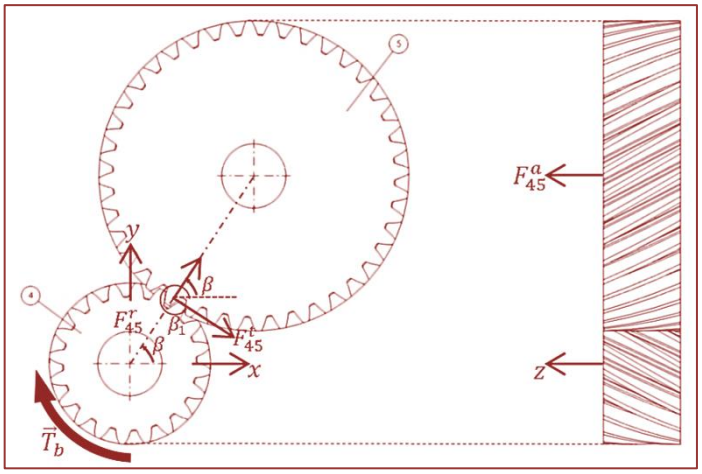


Figura 4. Interação de força entre as engrenagens (4) e (5)



A partir da Fig. 4, é possível identificar o ângulo β, que é formado entre o eixo horizontal, x, e a linha pontilhada, a qual liga o centro dos eixos. Esse ângulo indica a posição angular do eixo de saída do redutor, eixo (c), em relação ao eixo intermediário, eixo (b), medido a partir do eixo x, do plano cartesiano.

$$\vec{F}_{23} = \begin{bmatrix} F^r_{23} \cdot \cos(\theta_1) + F^t_{23} \cdot \cos(\theta_2) \\ F^r_{23} \cdot \sin(\theta_1) + F^t_{23} \cdot \sin(\theta_2) \\ F^a_{23} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{F}_{45} = \begin{bmatrix} F^r_{45} \cdot \cos(\beta) + F^t_{45} \cdot \cos(\beta_1) \\ F^r_{45} \cdot \sin(\beta) + F^t_{45} \cdot \sin(\beta_1) \\ F^a_{45} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

$$\alpha_1 = \alpha + 90^o$$
$$\alpha_2 = \alpha + 180^o \quad (4)$$

$$\theta_1 = \theta + 180^o$$
$$\theta_2 = \theta - 90^o \quad (5)$$
$$\theta = 150^o$$

$$\beta_1 = \beta + 270^o \quad (6)$$

Em seguida, essas forças foram calculadas variando os ângulos α e β de 0º à 360º em intervalos de 15º no MatLab. A partir desses resultados foi possível calcular as forças exercidas sobre os mancais e, ainda, o momento fletor máximo sobre os eixos.

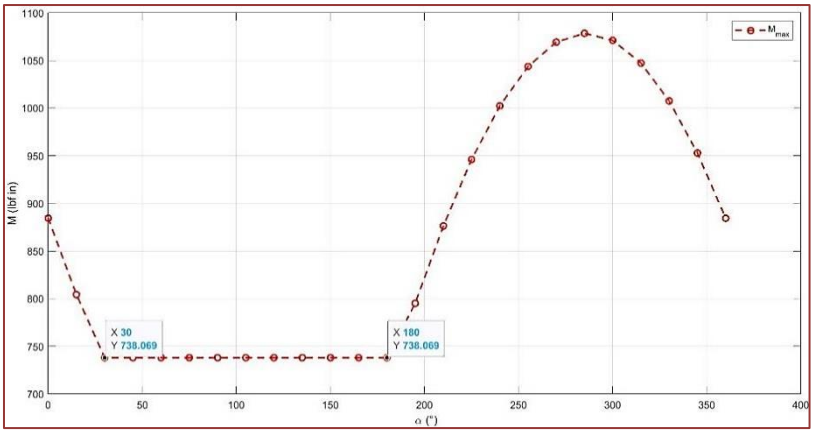
Por último, foi realizada uma análise variando o ângulo β, de 0º à 360º em intervalos também de 15º, verificando-se a influência desse sobre a área da caixa redutora.

3. RESULTADOS

3.1. INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS ALFA E BETA SOBRE OS MOMENTOS FLETORES DOS EIXOS

Para uma melhor compreensão da influência do ângulo α sobre o momento fletor máximo do eixo (a), devemos analisar a Fig. 5, no qual nos eixos das abscissas há os valores dos ângulos analisados e no eixo das ordenadas há o respectivo valor do momento fletor máximo do eixo.

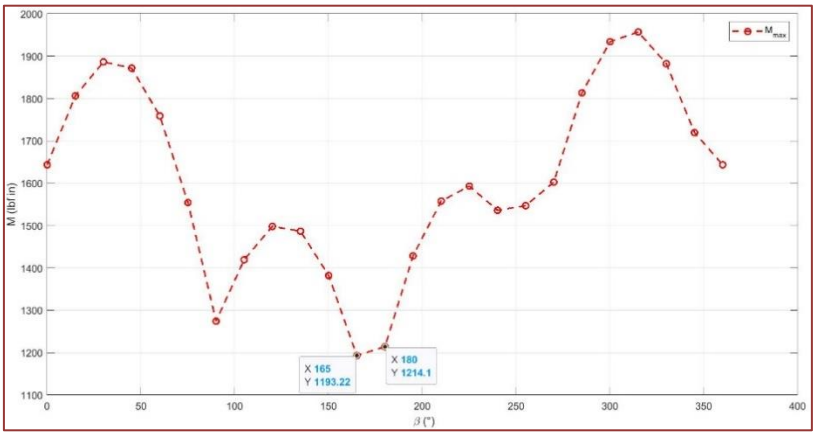
Figura 5. Influência da variação do ângulo alfa no momento fletor máximo do eixo (a)



Como pode ser visto na Fig. 5, o momento fletor sobre o eixo (a) não é constante. Quando se varia o ângulo α, de 0º à 360º, o momento fletor apresenta valores diferentes para ângulos distintos. No entanto, entre o intervalo de 30º à 180º, esse se mantém constante em seu menor valor, isso se deve à combinação da interação das forças atuantes bem como dos momentos. Nesse sentido, esse range, que compreende os valores de 30° à 180° é um intervalo importante, pois ele, certamente, irá influenciar na escolha do ângulo ideal, o qual minimizará o custo de produção do eixo. Deve-se recordar que esse ângulo, α, indica a posição angular em que a engrenagem acoplada ao eixo do motor deve estar posicionada em relação ao eixo (a), que é o eixo de entrada do redutor de velocidade. Nesse sentido, apenas posicionando o motor em um local adequado, dentro do range de valores estabelecido, já se conseguiria uma redução de custo, já que o diâmetro do eixo (a) poderia ser menor quando comparado a valores localizados fora do range, pois valores menores de momento fletores máximos representam menores esforços e, consequentemente, eixos de menores diâmetros atendem às cargas solicitadas.

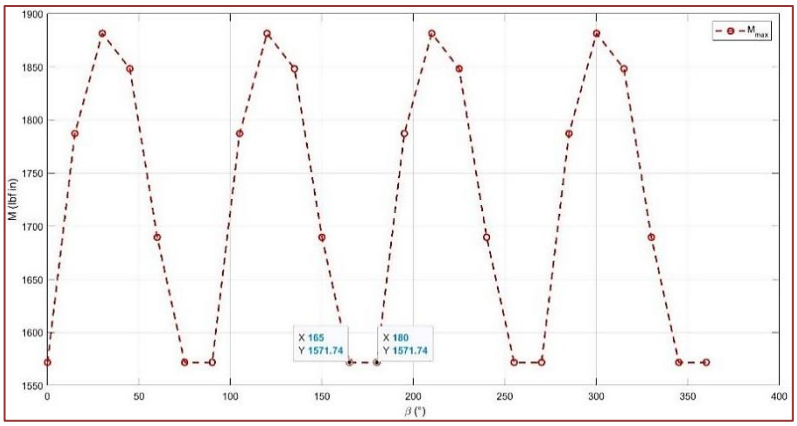
Já na Figura 6, semelhante ao que foi apresentado anteriormente, verifica-se que o ângulo β exerce uma grande influência sobre o momento fletor do eixo (b), bem como no eixo (c), como é visto na Fig. 7.

Figura 6. Influência da variação do ângulo beta no momento fletor máximo do eixo (b)



Assim como na Fig. 5, em que uma variação do ângulo α representa, em boa parte do gráfico, uma variação do momento fletor, vemos algo bem semelhante na Fig. 6, com o ângulo β, variando-se o ângulo de 0º à 360º, em intervalos de 15º, verifica-se que o momento apresentado sobre o eixo (b) também varia, apresentando seus valores mais baixos nas posições angulares de 165º e 180°. Assim como o ângulo α representa a posição angular do eixo do motor em relação ao eixo de entrada do redutor - eixo (a), medido a partir do eixo x, o ângulo β representa a posição angular do eixo de saída do redutor de velocidade, eixo (c), em relação ao eixo intermediário do redutor, eixo (b), a medição desse ângulo também é realizada a partir do eixo x do plano cartesiano. Dessa forma, os valores mínimos dos momentos fletores são interessantes por produzir uma redução de custo, logo, eles serão analisados detalhadamente.

Figura 7. Influência da variação do ângulo beta no momento fletor máximo do eixo (c)

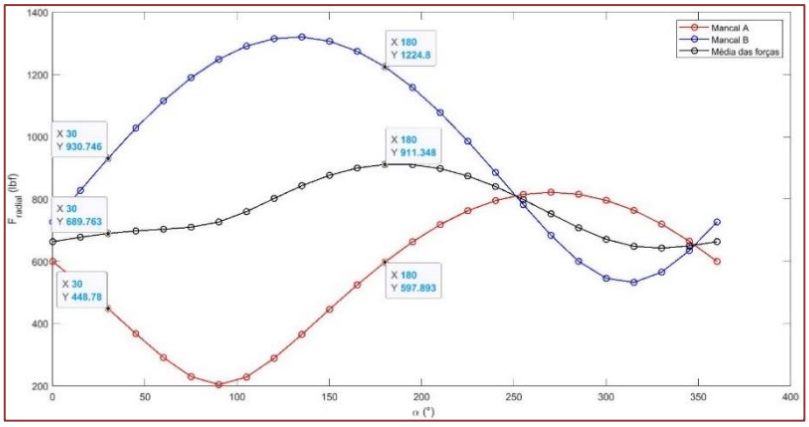


Seguindo o raciocínio anterior, vemos que na figura acima, Fig. 7, o ângulo β também influencia no valor do momento fletor máximo do eixo de saída, eixo (c). Dessa forma, como esse ângulo também influencia no momento fletor do eixo (b), devemos escolher um ângulo que minimize os dois momentos fletores simultaneamente, dessa forma, a partir do gráfico, pode-se concluir que os valores que minimiza tanto o momento fletor do eixo (b) quanto do eixo (c) são: 165° e 180°.

3.2. INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS ALFA E BETA SOBRE AS REAÇÕES NOS MANCAIS

Do mesmo modo que vimos que há uma influência do ângulo α sobre o momento fletor máximo do eixo (a), veremos se a variação desse ângulo ocasionará ou não uma variação dos valores relativos às reações dos mancais (A) e (B). Essa suposta influência pode ser verificada na Fig. 8.

Figura 8. Influência da variação do ângulo alfa nas reações dos mancais (A) e (B)



O gráfico acima, Fig. 8, apresenta duas grandezas físicas, representadas pela linha vermelha e pela linha azul. Já a linha preta, não representa uma grandeza física, mas sim matemática, já que ela representa a média das forças radiais atuantes nos dois mancais.

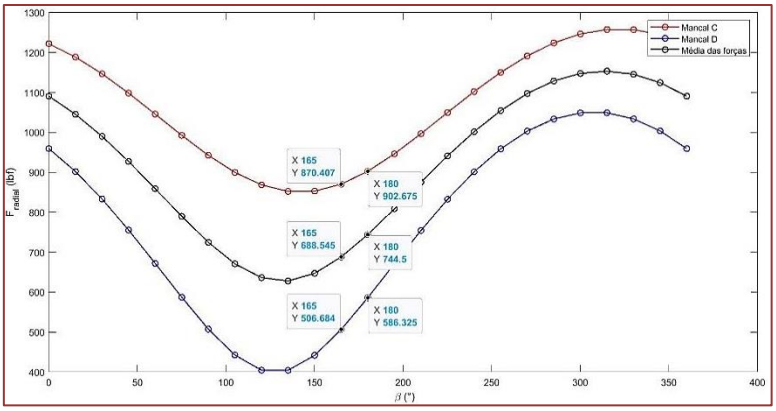
A linha azul da Fig. 8 representa a variação da força radial atuante sobre o mancal (A) em função do ângulo α, como o mínimo do momento fletor máximo do eixo (a) ocorre no intervalo em que α está entre 30º e 180º devemos procurar o ângulo α que também minimiza a força radial sobre o mancal (B). Logo, α é igual a 30°.

Já observando a linha vermelha da Fig. 8, verifica-se que o ângulo α que minimiza a força radial atuante no mancal (A) é 90°. Portanto, entramos em um impasse, já que 30º atende tanto ao valor mínimo do momento fletor do eixo (a) como da força radial exercida sobre o mancal (B), mas não sobre o mancal (A) e, 90° atende ao valor mínimo do momento fletor do eixo (a) como também da força exercida sobre o mancal (A), mas não sobre o mancal (B).

Nesse contexto, nasce o sentido de fazer uma média aritmética entre as forças radiais atuantes em pontos distintos do eixo. Essa média servirá para decidirmos, de forma mais acertada, o valor do ângulo α que minimizará os custos tanto da produção do eixo (a) quanto da seleção dos rolamentos, que depende de forma direta do valor das forças radiais. Nesse sentido, desde que não haja uma diferença expressiva entre os valores das forças radiais exercidas sobre os mancais (A) e (B), a média dessas forças deve ser levada em consideração na decisão do melhor ângulo, tomando sempre a menor média. Essa ressalva que não pode haver uma grande diferença nos valores calculados das forças radiais nos dois mancais, deve-se ao fato que, quando essa diferença é expressiva, geralmente, os tipos de rolamentos devem ser diferentes e isso implica em algumas dificuldades para a manutenção do equipamento.

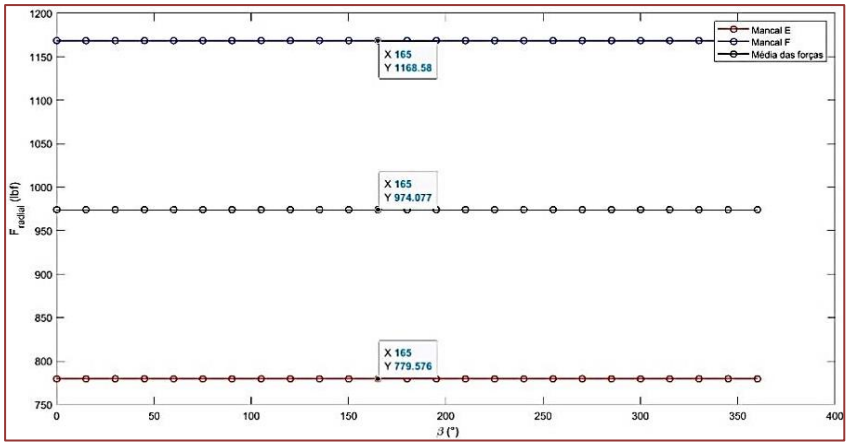
Já na Figura 9, verifica-se a influência do ângulo β sobre as reações que são exercidas pelos mancais (C) e (D). E na Fig. 10, veremos a influência desse mesmo ângulo, agora, nas reações dos mancais (E) e (F).

Figura 9. Influência da variação do ângulo beta nas reações dos mancais (C) e (D)



Semelhante ao que foi visto anteriormente, temos na Fig. 9, a constatação da influência do ângulo β nas forças radiais exercidas sobre os mancais (C) e (D), dessa forma, devemos escolher o ângulo β que atenda, simultaneamente, tanto aos mínimos momentos fletores máximos dos eixos (b) e (c) como as menores médias aritméticas das forças radiais exercidas sobre os mancais (C), (D), (E) e (F). Como visto na figura acima, o valor do ângulo β que atende as três primeiras exigências, menor momento fletor máximo sobre o eixo (b) e (c) e menor média da força radial atuante sobre os mancais (C) e (D), é o de 165°.

Figura 10. Influência da variação do ângulo beta nas reações dos mancais (E) e (F)

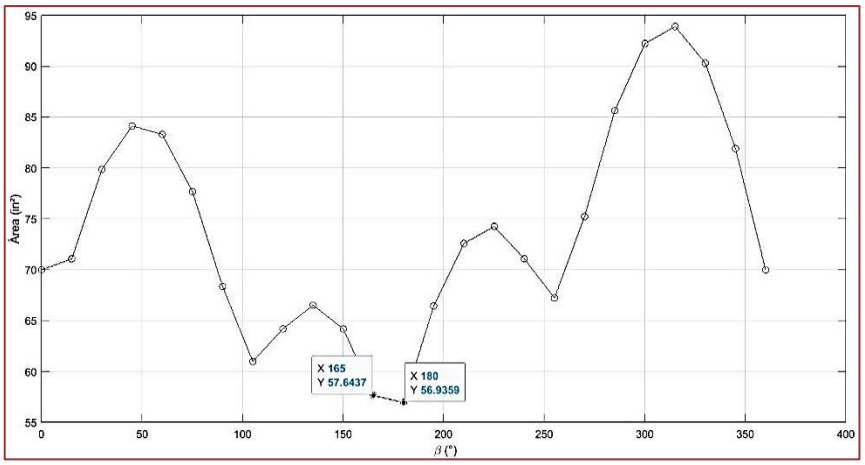


Vemos na Fig. 10 que o ângulo β não exerce qualquer influência nas forças exercidas sobre os mancais (E) e (F). Portanto o valor do ângulo β considerado ideal, ou seja, aquele que minimiza os custos, continua, ainda, sendo 165º.

3.3. INFLUÊNCIA DO ÂNGULO BETA SOBRE O VOLUME DA CAIXA DE REDUÇÃO

Como já foi visto acima, o ângulo β vai mexer com a disposição geométrica dos elementos que constituem o redutor de velocidade, já o ângulo α nada tem haver com a caixa redutora, mas apenas com o acoplamento do motor à caixa, o qual é feito por meio de engrenagens. Esse acoplamento é externo à caixa redutora e, portanto, não afetará na geometria e nem no volume da caixa. Nesse contexto, apenas o ângulo β vai influenciar tanto na geometria quanto no volume da caixa redutora de velocidade.

Figura 11. Influência da variação do ângulo beta na área frontal da caixa de redução



A partir da Figura 11, verifica-se uma forte influência do ângulo beta na área da caixa de redução, vê-se ainda, que há um ponto de mínimo. Esse ponto corresponde ao valor do ângulo β de 180º, no entanto, há um ponto em que o valor da área é próximo ao mínimo e que este ponto atende aos requisitos anteriormente estabelecidos. Portanto, faz-se sentido adotar esse valor de β como sendo o valor ideal, que no caso é 165º.

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo podem ser assim sumarizadas:

A forma como os eixos estão dispostos em um redutor de velocidades influencia grandemente nas grandezas físicas que estão diretamente ligadas ao diâmetro dos eixos, que no caso é o momento fletor; que também estão ligadas à seleção do tipo de rolamento, que nesse caso é o valor da força radial que atua sobre os mancais; e por último, o volume da caixa. Quando se reduz o valor dessas três grandezas físicas, reduz-se, consequentemente, o valor de produção do redutor de velocidade.

Nesse sentido, buscamos nesse estudo, encontrar os valores dos ângulos alfa e beta que minimize o custo de produção. Uma vez que este está ligado diretamente às três grandezas mencionadas anteriormente, devemos buscar o ângulo que proporcione o menor valor dessas.

Dessa forma, o ângulo alfa que, simultaneamente, minimiza tanto o momento fletor produzido no eixo (a) quanto a média dos esforços radiais alocados sobre os mancais (A) e (B), é o ângulo de 30º. Nesse sentido, como o diâmetro do eixo aumenta à proporção que o momento sofrido por ele também aumenta e, a seleção do tipo de rolamento que deve ser assentado nos mancais depende do tipo de esforço e da magnitude do esforço alocado sobre o mesmo, conclui-se, portanto, que esse valor de alfa atende, simultaneamente, as duas condições.

Já para a escolha do ângulo beta, devemos escolher o ângulo que atenda, simultaneamente, aos seguintes requisitos: minimizar o momento fletor sobre o eixo (b) e (c), minimizar os esforços sobre os mancais (B), (C), (D) e (E) e também minimizar o volume da caixa. Nesse contexto, analisando as Fig. 6, Fig. 7, Fig. 9, Fig. 10 e a Fig. 11, percebemos que o ângulo beta que nos fornece a melhor solução é o ângulo de 165º. Pois, embora ele não proporcione o menor valor dos esforços alocado sobre os mancais (C) e (D) nem o menor volume da caixa, esse ângulo, quando se analisa o conjunto dos requisitos, é o que apresenta a melhor solução. Desse modo, ele vai minimizar o custo gerado para a produção da caixa - envelope e, também, minimizará os momentos fletores gerados sobre os eixos (b) e (c), diminuindo dessa forma o diâmetro dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em especial, aos professores José Carlos de Lima Junior e João Bosco de Aquino Silva, pela contribuição no desenvolvimento desse trabalho, bem como aos demais envolvidos de forma direta e indireta.

REFERÊNCIAS

[1] BUDYNAS, Ricardo; NISBETT, J K. Elementos de Máquinas de Shigley . São Paulo: Grupo A, 2016. 9788580555554. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555554/. Acesso em: 11 fev. 2022.

[2] COLLINS, Jack A. Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas, 2ª edição . Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. 9788521636243. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636243/. Acesso em: 11 fev. 2022.

[3] CHAPMAN, Stephen J. Programação em MATLAB para engenharia – Tradução da 5ª edição norte-americana . São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2018. 9788522125234. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522125234/. Acesso em: 11 fev. 2022.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Capítulo 5

Influência da operação de um sistema de armazenamento a bateria na qualidade da energia[1]

Ana Rosa Carriço de Lima Montenegro Duarte
Thiago Mota Soares
Maria Emília de Lima Tostes
Ubiratan Holanda Bezerra
Andréia Antloga do Nascimento
Vinícius Borges Andrade
Athila Santos de Lima

Resumo: Esse artigo tem o objetivo de apresentar os resultados da análise da qualidade da energia elétrica (notching, harmônicos, supraharmônicos e interharmônicos) realizada no barramento de saída dos conversores híbridos da minirede do Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia durante o carregamento e descarregamento do sistema de armazenamento a bateria. Essa análise permitiu verificar que há o surgimento de notching, harmônicos, interharmônicos e supraharmônicos tanto na corrente quanto na tensão durante a operação do sistema de armazenamento.

Palavras-chave: Notching, harmônicos, interharmônicos Sistema de armazenamento a bateria, supraharmônicos

[1] Este trabalho foi desenvolvido com financiamento da Norte Energia S.A – NESA, como parte integrante do projeto de P&D ANEEL 07427-0319/2019 "Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, foi possível observar um aumento significativo da geração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica, principalmente na forma de sistemas fotovoltaicos no Brasil. Essa situação se deve a diversos fatores, como, por exemplo, a razoabilidade dos custos de implantação de sistema fotovoltaicos, os incentivos econômicos à implantação de fontes de energia renovável e outros.

A presença geração distribuída nas redes de distribuição oferece vários benefícios para as concessionárias e seus clientes, no entanto, a sua intermitência pode tornar a operação dos sistemas de distribuição um desafio em diversos aspectos [1]. Dessa forma, a introdução de sistemas de armazenamento pode contribuir para aumentar a confiabilidade das redes elétrica, possibilitando melhorias na variabilidade da tensão da rede, remodelamento do perfil de consumo e outros [2].

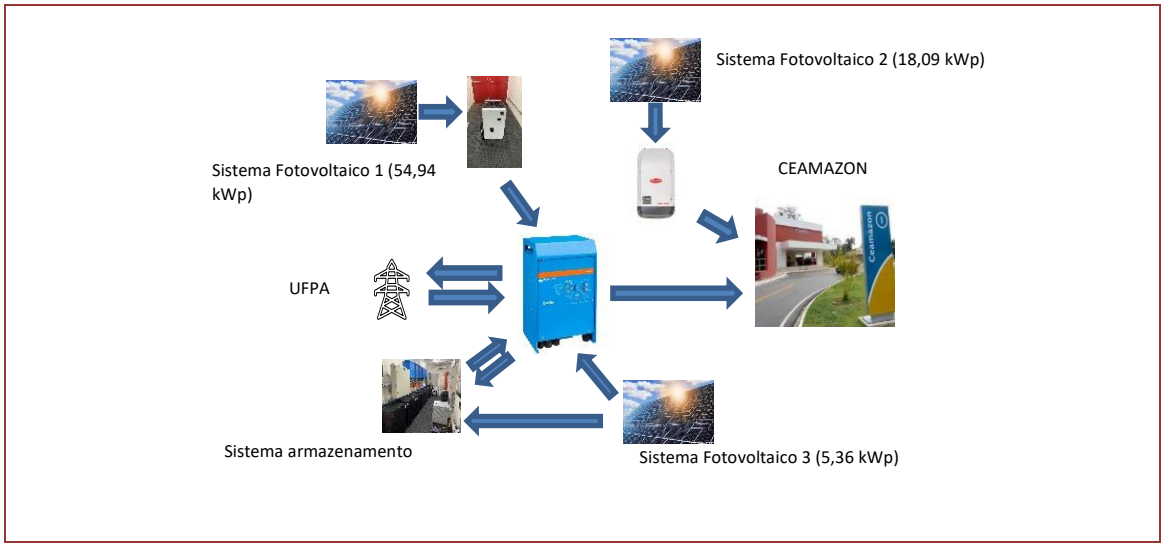
Nesse contexto, foi instalado na Universidade Federal do Pará (UFPA) um sistema híbrido, composto de um sistema solar fotovoltaico e de armazenamento a bateria, no Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON) conectado à rede elétrica, por meio do projeto de P&D ANEEL, com o objetivo de fornecer suporte de energia tanto ao CEAMAZON quanto à própria universidade.

Dessa forma, esse artigo apresenta uma análise da qualidade da energia das instalações elétrica durante o carregamento e descarregamento desse sistema de armazenamento.

2. SISTEMA DE GERAÇÃO HÍBRIDA DA UFPA

O sistema híbrido instalado na UFPA é composto de três sistemas fotovoltaicos e um sistema de armazenamento de baterias, conforme mostrado na Fig. 1.

Figura 1 – Sistema de Geração híbrido da UFPA

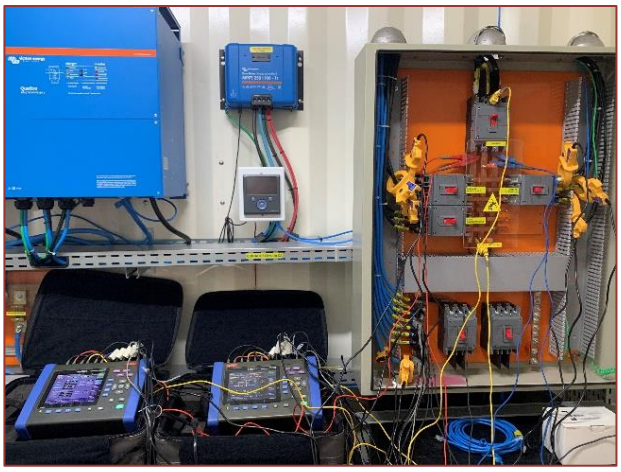


Nesse sistema de geração híbrida, o sistema fotovoltaico 1 está conectado no barramento de entrada dos conversores inteligentes e possui capacidade de fornecer uma potência 54,94 kW, enquanto que o sistema fotovoltaico 3, que está conectado no barramento de saída dos conversores e possui capacidade de fornecer 18,09 kW. Além disso, há um terceiro sistema fotovoltaico conectado no barramento DC do banco de baterias e possui capacidade de fornecer 5,36 kW.

O sistema de armazenamento a bateria é composto de 8 baterias de íon lítio com capacidade de fornecer 13,2 kWh para o prédio do CEAMAZON. Essas baterias são carregadas tanto pelo sistema fotovoltaico 3 quanto pela concessionária, por meio dos conversores híbridos.

Para avaliar a qualidade da energia elétrica do CEAMAZON durante a operação do banco de baterias, instalou-se o analisador de qualidade da energia elétrica PW3198 no barramento de saída dos conversores inteligentes, conforme mostrado na Fig. 2.

Figura 2. Analisador de Qualidade da energia instalado no barramento de saída dos conversores híbridos



Esse analisador foi configurado para registrar distúrbio transitórios na tensão e corrente, distorções harmônicas, intrharmônicos, supraharmônicos, variação de tensão de curta duração e outros distúrbios.

3. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

No período de 13/04/2021 a 16/04/2021, o sistema de armazenamento de bateria foi programado para suprir a energia do prédio do CEAMAZON entre às 18:30H e 21:30H, conforme pode ser visto na Fig. 3, que mostra o comportamento da tensão e corrente DC do banco de baterias nesse período.

Após as 21:30 horas, o banco de baterias iniciava o seu carregamento utilizando a energia proveniente da concessionária durante a madrugada. E, durante o dia, tanto a energia proveniente da concessionária quanto dos sistemas fotovoltaicos contribuíam para seu carregamento, principalmente o sistema fotovoltaico conectado diretamente no barramento DC.

Analisando os gráficos das Fig. 3 e Fig. 4, é possível observar o comportamento da tensão e da corrente DC do banco de bateria durante os seus períodos de descarregamento e carregamento. Durante o descarregamento do banco de baterias, a corrente DC apresentou um valor médio de 157 A, enquanto que a tensão DC apresentou um valor médio de 52,79 V.

Por outro lado, durante o período de carregamento do banco de baterias, a corrente DC medida apresentou um valor médio de 75 A, enquanto que a tensão DC apresentou um valor médio de 53,83 V.

Além disso, é importante ressaltar também que no momento que banco de baterias atingiu sua carga máxima (SOC igual a 100%), foi possível observar um aumento abrupto na tensão DC do banco, atingindo um valor de 56,28 V no dia 13/04/2021, antes de se estabilizar em aproximadamente 55 V, conforme pode ser visto na Fig 3.

Outro ponto que é importante mencionar durante a operação do sistema de armazenamento a baterias está relacionado a variação da tensão e corrente DC desse banco nos momentos em que o mesmo apresentou um SOC igual a 100%, conforme mostrado nas Fig. 3 e Fig. 4. Essa variação se deve principalmente ao descarregamento e carregamento de energia desse sistema em intervalos de tempo curtíssimos.

Figura 3. Tensão e corrente DC do sistema de armazenamento de baterias

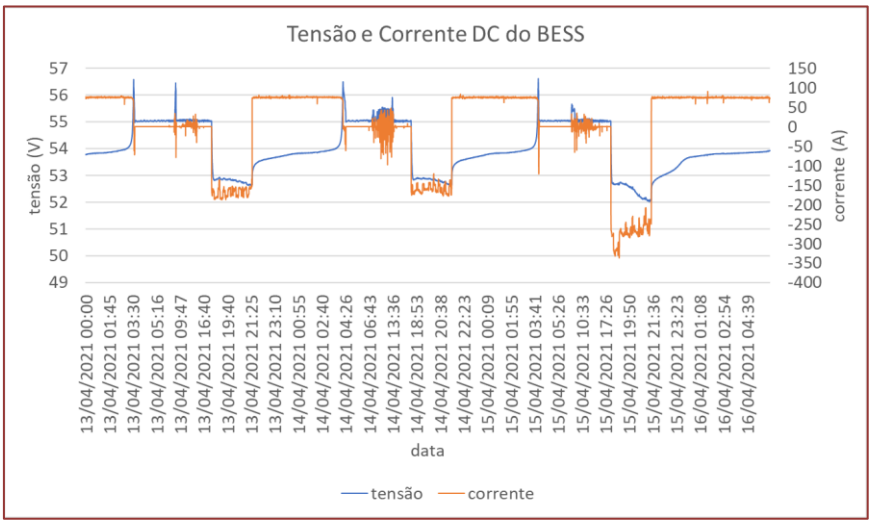
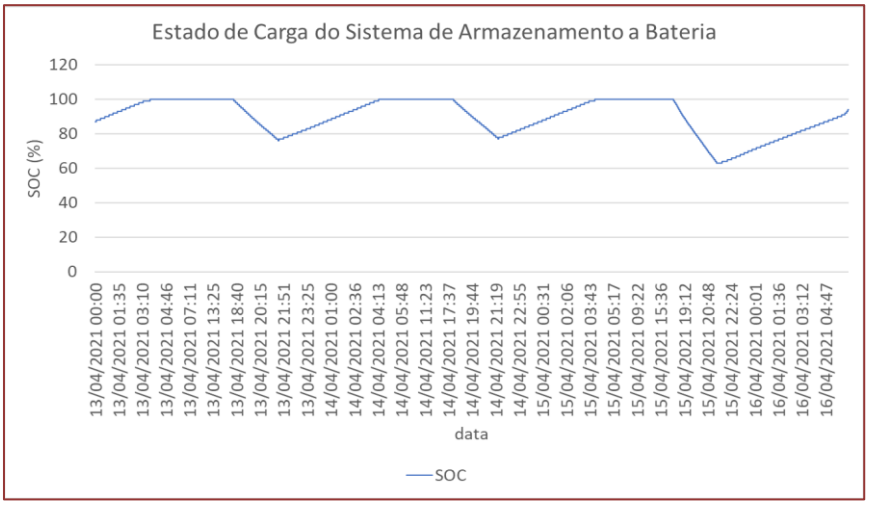


Figura 4. SOC do sistema de armazenamento de baterias



3.1. TRANSITÓRIOS DURANTE A OPERAÇÃO DO BESS

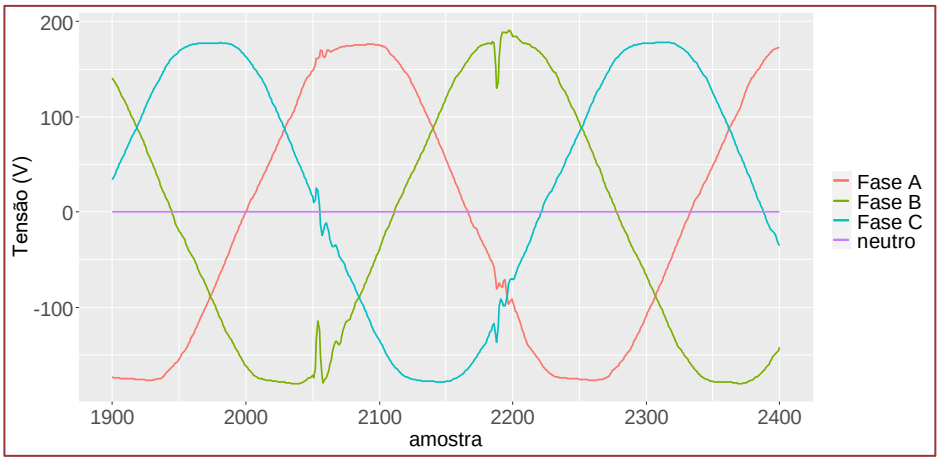
Conforme mencionado anteriormente, instalou-se o medidor de qualidade da energia PW 3198, cujo fabricante é HIOKI, na subestação de entrada do prédio do CEAMAZON, que está localizado na saída dos conversores. Esses conversores são responsáveis pelo gerenciamento da energia dos sistemas fotovoltaicos e sistema de armazenamento a baterias, assim como pelo carregamento do banco de baterias.

Durante a operação do sistema de armazenamento a baterias (carregamento e descarregamento), pôde-se observar a ocorrência de distúrbios que prejudicam a qualidade da energia, como, por exemplo, transitórios oscilatórios. Essa situação pode ser visualizada nas Fig. 5 e Fig. 6, que mostram a ocorrência de um transitório oscilatório nas formas de onda da tensão e corrente na saída dos conversores.

Nos momentos que o banco de baterias estava descarregando sua energia na rede elétrica e, portanto, suprindo energia para as instalações elétricas do CEAMAZON, observou-se a ocorrência de *notching* na tensão e corrente, conforme pode ser visto na Fig .5 e Fig. 6, que mostram as tensões e corrente instantâneas, respectivamente, nas fases A, B e C.

Analisando o gráfico da Fig. 5, é possível perceber a ocorrência de *notching* na forma de onda de tensão em todas as fases, sendo mais expressivo na fase B. Esse distúrbio está relacionado principalmente com a comutação dos conversores durante o período de descarregamento e carregamento dos bancos de baterias, provavelmente, resultante da variação da tensão e corrente DC desse banco.

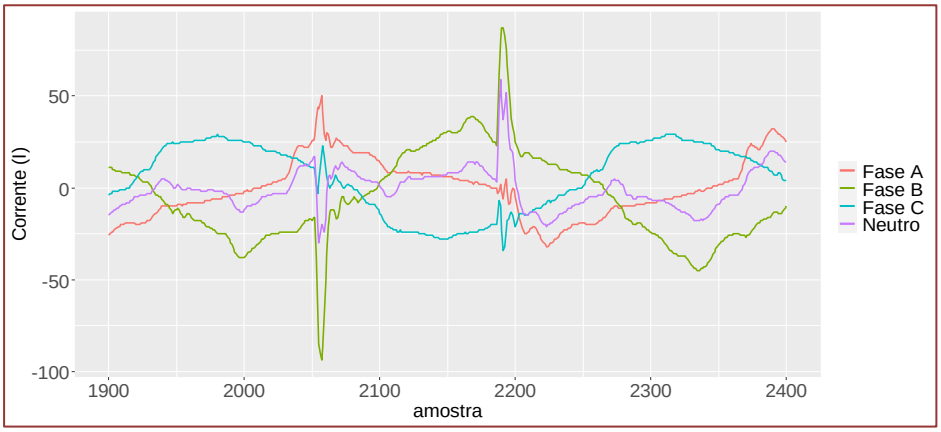
Figura 5. Ocorrência de notching na forma de onda de tensão na saída dos conversores



Esse distúrbio pode ser visto também na forma de onda da corrente, conforme mostrado na Fig. 6. Semelhante ao que ocorreu na forma de onda da tensão, o *notching* presente na forma de onda corrente foi mais expressivo na fase B. Além disso, o efeito desse distúrbio na corrente apresentou maiores picos em relação à tensão, atingindo valores próximo de 100 A na fase B.

Embora esse distúrbio tenha uma duração muito curta (menos de meio ciclo), ele ocorre com bastante frequência durante o período de descarregamento e carregamento do banco de baterias, o que pode afetar equipamentos eletrônicos sensíveis a longo prazo.

Figura 6. Ocorrência de notching na forma de onda de corrente na saída dos conversores

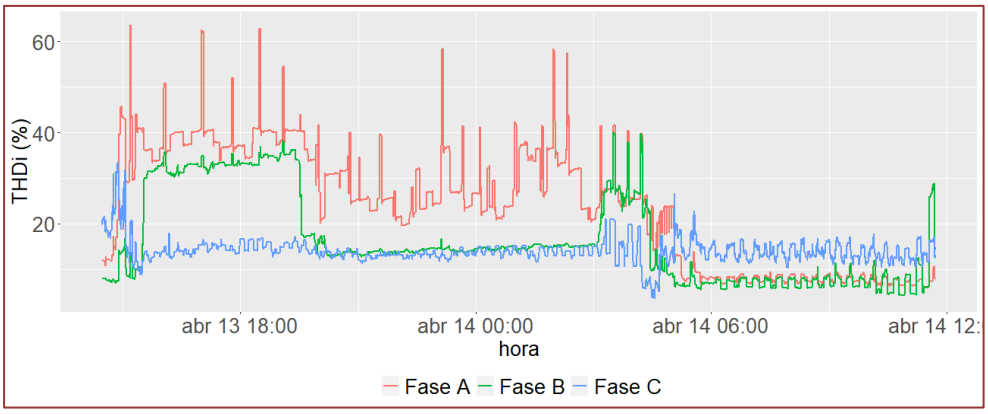


3.2. HARMÔNICOS E INTERHARMÔNICOS

Outro tipo de distúrbio que degrada a qualidade da energia elétrica observado durante a operação do sistema de armazenamento a baterias foi a presença de harmônicos e interharmônicos.

Analisando a Fig. 7, que mostra a taxa de distorção harmônica total de corrente (THDi) medida na saída dos conversores no período de 13/04/2021 à 14/04/2021, é possível observar que, no período de descarregamento do banco de baterias (18:30H à 21:30H), o THDi apresentou um valor acima de 30% nas fases A e B. Além disso, é possível também notar a presença de picos de distorção de corrente na fase A, atingindo um valor igual a 60% nesses momentos.

Figura 7. Taxa de distorção harmônica total de corrente na saída dos conversores



Essa situação está relacionada com o fato das correntes medidas na saída dos conversores apresentarem uma redução no seu valor RMS, conforme mostrado na Fig. 8, que mostra a corrente RMS na saída dos conversores. Essa redução na corrente fundamental provocou um aumento da taxa de distorção da forma de onda da corrente, conforme observa-se na Fig. 9.

Figura 8. Corrente RMS na saída dos conversores híbridos

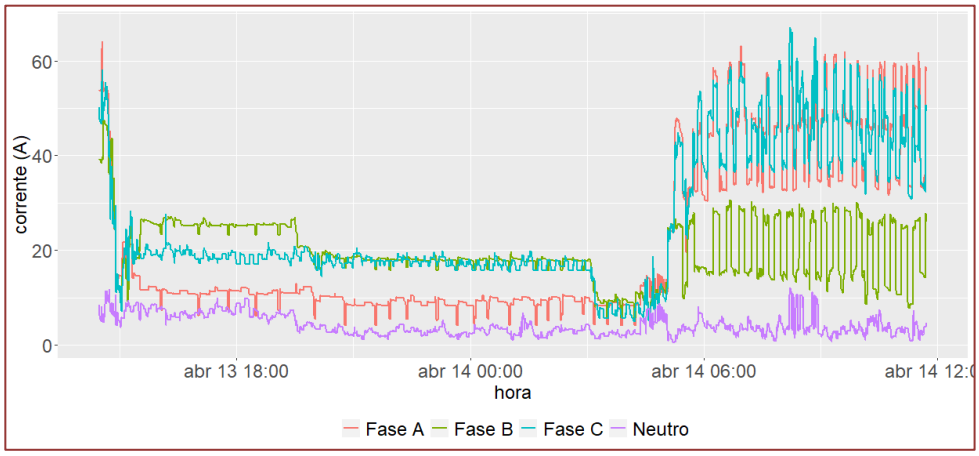
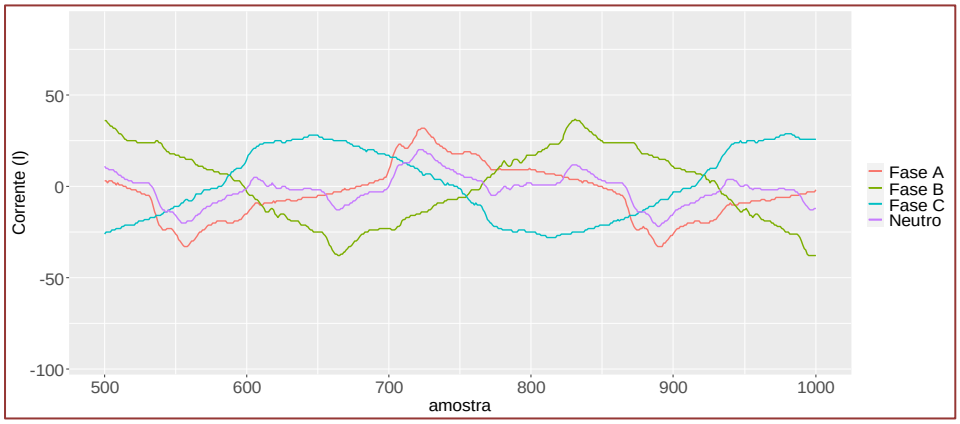


Figura 9. Forma de onda da corrente na saída dos conversores devido a operação do sistema de armazenamento



A distorção observada na forma de corrente (Fig. 9) está relacionada principalmente com a presença de correntes harmônicas de ordem 2, 3, 5, 7, 9 e 11, conforme pode ser visto nas Fig. 10, Fig. 11 e Fig. 12, que mostram as taxas de distorção harmônica individual de corrente nas fases A, B e C, respectivamente. Além disso, é possível perceber que o 3º harmônico de corrente apresentou um valor mais expressivo em relação as demais ordens harmônicas durante a operação do sistema de armazenamento.

Figura 10. Taxa de distorção harmônica individual de corrente na fase A da saída conversores

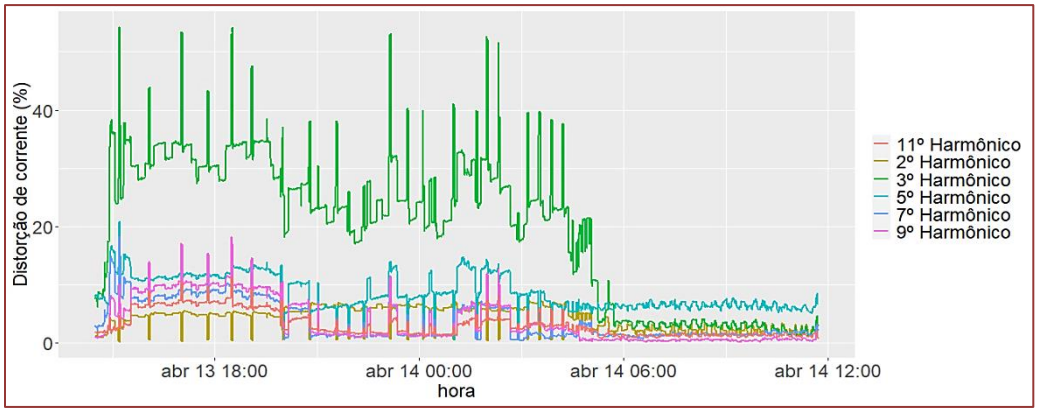


Figura 11. Taxa de distorção harmônica individual de corrente na fase B da saída conversores

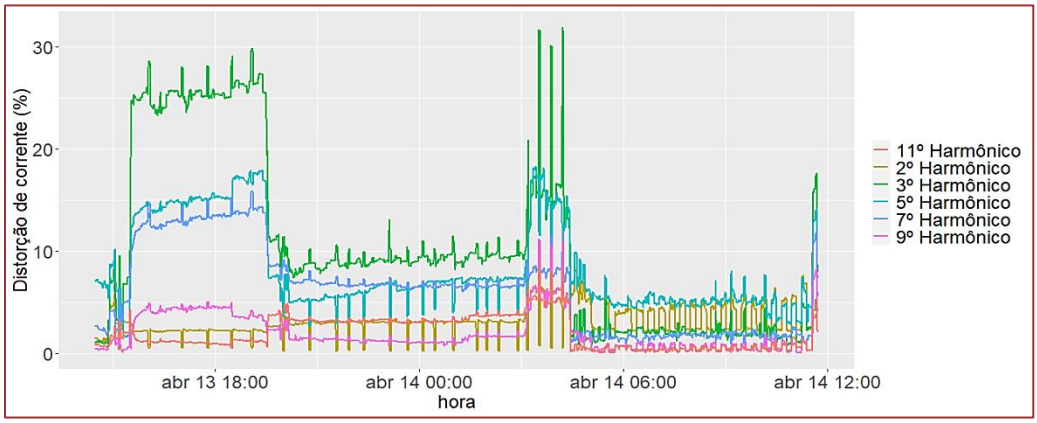
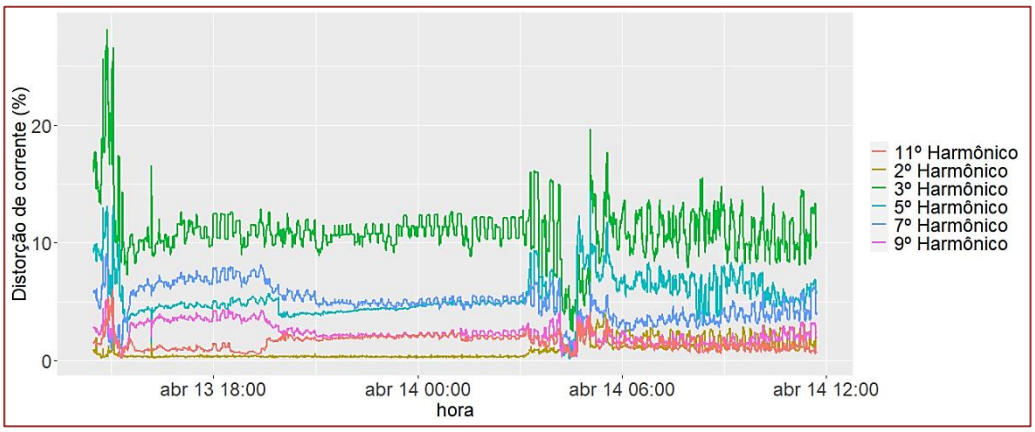


Figura 12. Taxa de distorção harmônica individual de corrente na fase C da saída conversores



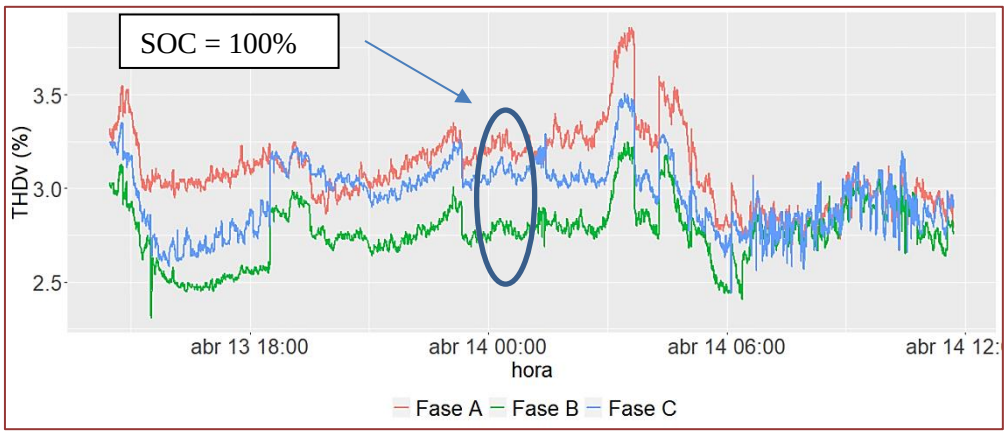
Apesar dos níveis de distorção harmônica de corrente apresentarem valores que variam de 10 a 30%, é

importante mencionar que o valor da corrente no período de descarregamento do banco de baterias é relativamente baixo, variando de 10 a 20 A (Fig. 8), que indica que as correntes harmônicas podem provocar uma pequena influência no nível de distorção harmônica de tensão. Essa observação pode ser visualizada na Fig. 13.

Analisando a Fig. 13, que mostra a taxa de distorção harmônica total de tensão (THDv) na saída dos conversores de potência, é possível observar que o THDv variou entre 2,5 até 3,5%. Calculando o percentil de 95% do THDv nas fases A, B e C, obtêm-se os seguintes valores 3,46%, 3,03% e 3,23%, respectivamente.

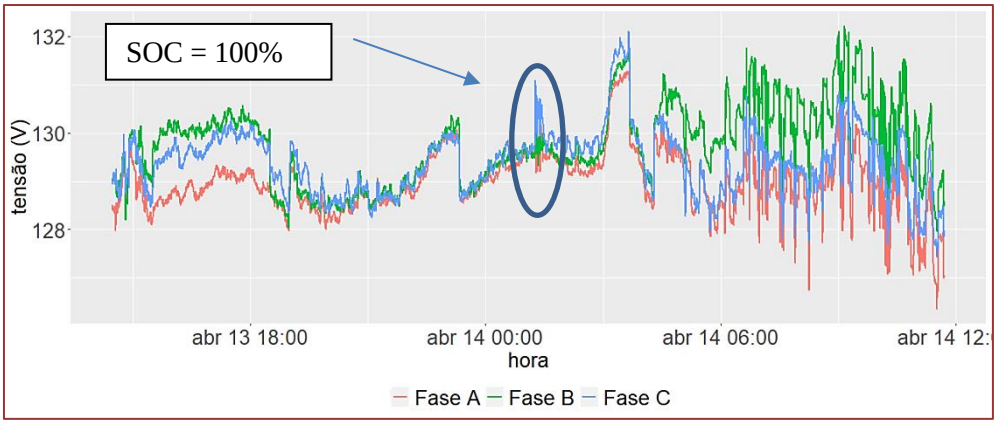
Dessa forma, comparando esses percentils com os valores de referência estabelecidos no módulo 8 do Procedimento de Distribuição de Energia elétrica, verifica- se que os mesmos estão bem abaixo dos valores de referência. Porém, é importante ressaltar que os baixos valores de correntes harmônicas podem provocar elevações nas tensões harmônicas caso existam pontos de ressonância próximo das frequências harmônicas.

Figura 13. Taxa de distorção harmônica total de tensão na saída dos conversores



Além disso, pode-se perceber variações tanto na tensão RMS quanto na taxa de distorção harmônica total no momento da elevação da tensão DC do banco de baterias observadas na Fig. 3 quando o seu SOC apresentou valores iguais a 100%. Essa situação pode ser vista nas Fig. 13 e Fig 14.

Figura 14. Tensão RMS na saída conversores híbridos



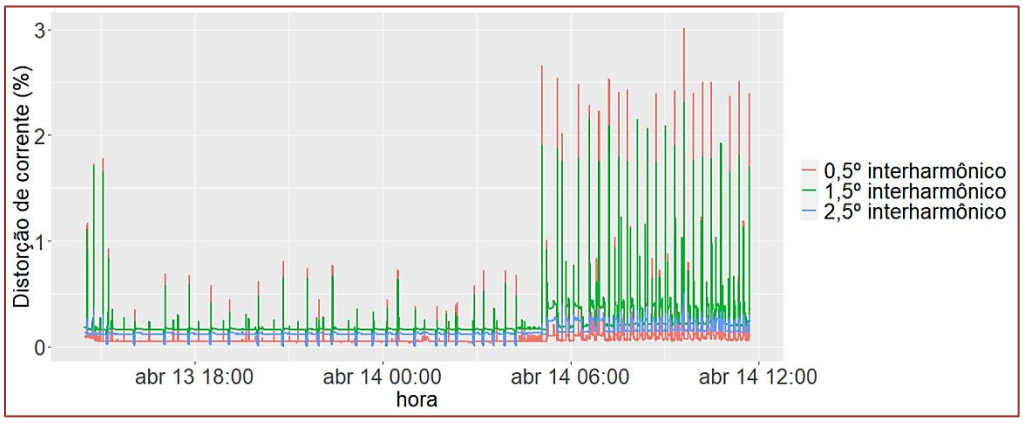
Além da presença de correntes harmônicas no barramento de saída dos conversores, observou-se a presença de interharmônicos de corrente durante o carregamento e descarregamento do banco de baterias. Esse período pode ser identificado no intervalo de 18:30H às 05:00H nas Fig.15 e Fig 16.

Na Fig 15, que mostra os interharmônicos de corrente de ordem 0,5, 1,5 e 2,5, observa-se que essas correntes interharmônicas apresentaram valores relativamente atípico para esse tipo de distúrbio, haja vista que eles normalmente são praticamente iguais a zero. Além disso, é importante mencionar que o interharmônico de ordem 1,5 se destacou em relação as demais ordens.

Além disso, nota-se que as correntes interharmônicas apresentaram picos durante do banco de baterias, atingindo níveis em torno de 10%, no caso dos interharmônicos de corrente de ordem 0,5, 1,5 e 2,5.

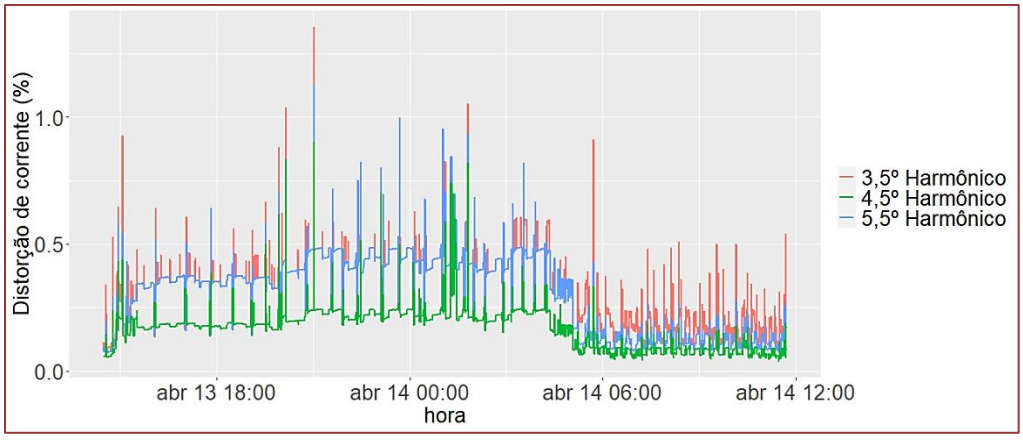
O comportamento das correntes interharmônicas também foi observado nas demais fases, porém apresentando pico menores em relação a fase A.

Figura 15. Interharmônicos de corrente de ordem 0,5, 1,5 e 2,5 na fase A do barramento de saída dos conversores híbridos



Durante a realização desse trabalho, observou-se também a presença de interharmônicos de corrente, porém com um valor menor. Isso pode ser visto na Fig 16, que mostra os interharmônicos de ordem 3,5, 4,5 e 5,5.

Figura 16. Interharmônicos de corrente de ordem 3,5, 4,5 e 5,5 na fase A do barramento de saída dos conversores inteligentes



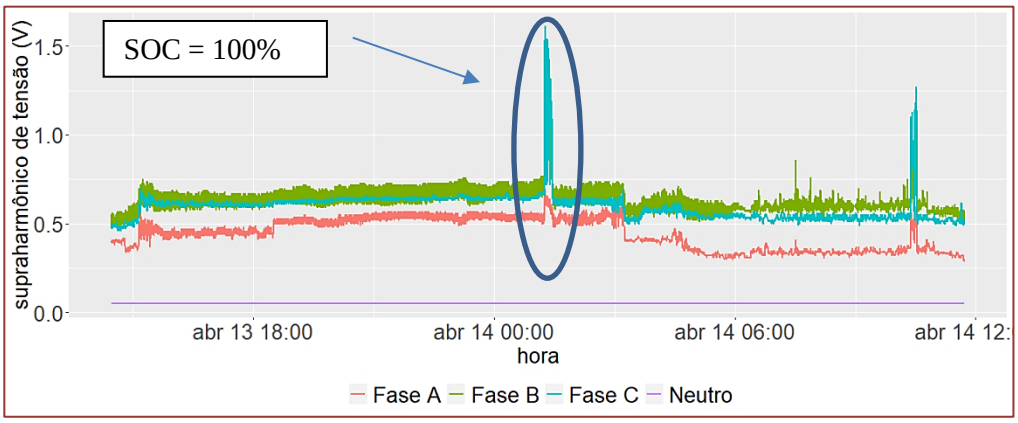
3.3. SUPRAHARMÔNICOS

Durante o carregamento e descarregamento do banco de baterias, observou-se também o surgimento de supraharmônicos tanto na tensão quanto na corrente na saída do conversor híbrido, que são componentes senoidais que apresentam frequência variando de 2kHz até 150 kHz.

Na Fig. 17, nota-se que a tensão RMS devido somente aos supraharmônicos de tensão medidos na saída dos conversores híbridos se manteve abaixo de 0,8 V durante o carregamento e descarregamento do banco de baterias, com exceção no momento em que banco de baterias apresentou um SOC igual a 100%, as 04:15 hs do dia 13/04/2021.

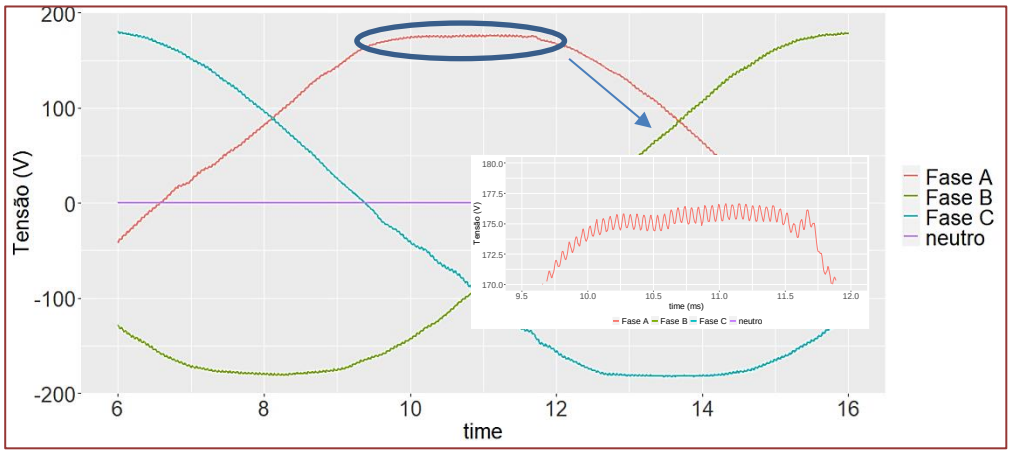
Além disso, tendo como base o gráfico da Fig. 17, é importante ressaltar que no momento em que o SOC do banco de baterias atingiu um valor igual 100 %, os interharmônicos de tensão apresentaram uma elevação no seu valor RMS, semelhante ao que ocorreu na tensão DC mostrado na Fig. 3.

Figura 17. Corrente RMS dos supraharmônicos de tensão



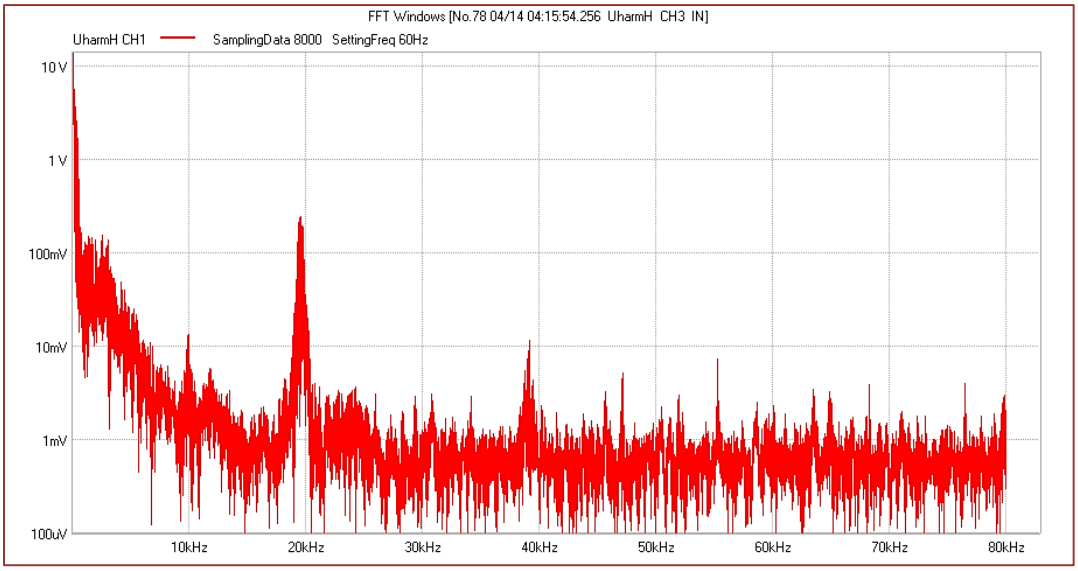
Na Fig 18, apresenta-se a forma de onda de tensão com distorções provocadas por supraharmônicos no momento em que a sua tensão RMS aumentou brucamente, onde é possível notar que os supraharmônicos causaram um serrilhamento na forma de onda da tensão.

Figura 18. Supraharmônicos na tensão de saída do conversor híbrido



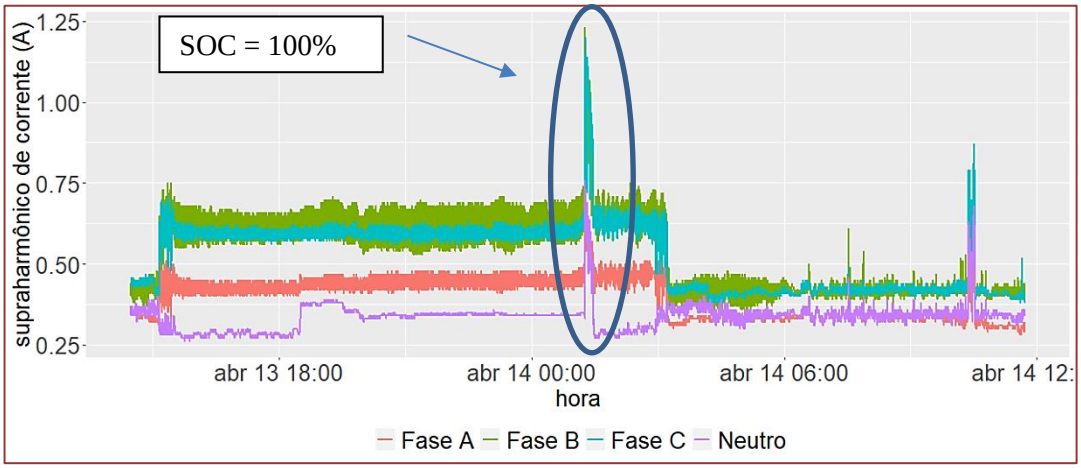
Analisando o espectro de frequência na fase A da tensão, mostrado na Fig 19, nota-se que os supraharmônicos apresentam valores relativamente baixo de tensão, variando aproximadamente de 100 µV até 70 mV. Além disso, é possível notar que os supraharmônicos com frequência de 10, 20 e 40 kHz se destacaram em relação ao demais componentes, onde o supraharmônico de 20 kHz apresentou o maior valor de tensão, atingindo em torno de 70 mV.

Figura 19. Espectro de frequência da tensão na fase A



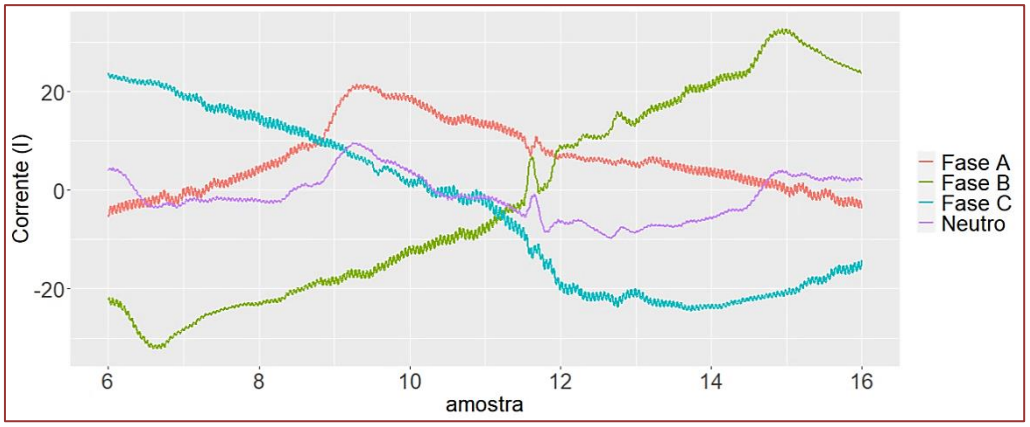
Semelhante ao que ocorreu com os supraharmônicos de tensão, o valor RMS dos supraharmônicos de corrente também aumentaram bruscamente no momento em que a tensão DC do banco de baterias elevaram o seu valor, sendo que essa situação está destacada na Fig. 20.

Figura 20. Valor RMS dos supraharmônicos de corrente



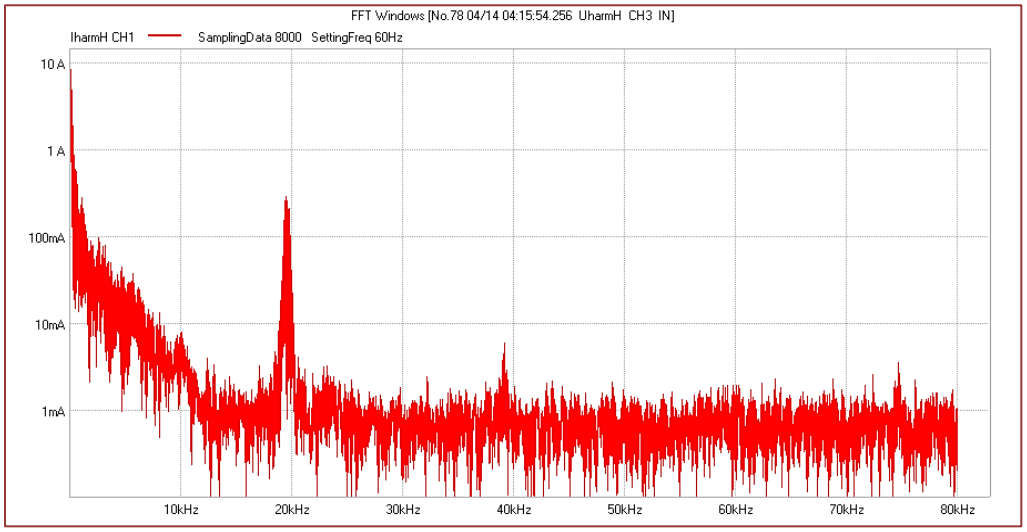
Na Fig 21, nota-se a presença de distorções na forma de onda da corrente provocadas por supraharmônicos, haja vista que esses harmônicos de alta frequência causam um serrilhamento na forma de onda da corrente. É importante observar também que os suparharmônicos se destacaram mais na corrente do que na tensão.

Figura 21. Supraharmônicos na corrente de saída do conversor híbrido



Analisando o espectro de frequência na fase A da corrente, mostrado na Fig. 22, nota-se que os supraharmônicos apresentam valores relativamente baixo de corrente, variando aproximadamente de 100 µA até 70 mA. Além disso, é possível notar que os supraharmônicos com frequência de 10, 20 e 40 kHz também se destacaram em relação ao demais componentes, onde o supraharmônico de 20 kHz apresentou o maior valor de tensão, atingindo em torno de 70 mA.

Figura 22. Espectro de frequência da corrente na fase A



4. CONCLUSÃO

A implantação de um sistema de armazenamento proporciona um conjunto de benefícios para a operação de sistemas de distribuição como, por exemplo, redução da intermitência das fontes de geração renováveis. No entanto, a operação desses sistemas de armazenamento também pode provocar o surgimento de distúrbios que prejudicam a qualidade da energia elétrica, como, por exemplo, ocorrência de *notching*, supraharmônicos (destacando-se as frequências de 20, 40 kHz), interharmônicos e harmônicos.

Embora os harmônicos, interharmônicos e supraharmônicos apresentem baixos níveis de distorção, eles podem excitar possíveis pontos de ressonância da rede elétrica, e, consequentemente, provocar sobretensões na mesma.

Além disso, a elevação da tensão do banco de baterias nos momentos em que as mesmas atingem um SOC igual a 100% pode implicar no aumento da tensão e corrente de supraharmônicos na rede elétrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e do CNPq para a realização do presente trabalho, parte integrante do projeto de P&D ANEEL 07427-0319/2019 “Sistema Inteligente de Gestão Eficiente de Mobilidade Elétrica Multimodal”, em execução pelo Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia – CEAMAZON, da Universidade Federal do Pará, com financiamento da Norte Energia S.A. – NESA.

REFERÊNCIAS

[1] F. Zobaa, P. F. Ribeiro, S. H. Abdel Aleem, S. N. Afifi. Energy Storage at Different Voltage Levels: Technology, Integration and Market Aspects.IET The Institution of Engineering and Tecnology. 2018.

[2] K. C. Divya, J. Ostergaard. Battery Energy Storage Technology for Power System – An Overview. Electric Power System Research. vol 79. pp. 511-522. Elsevier

[3] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty. Electrical Power Systems Quality. McGraw Hill. 2021.

[4] O. Lennerhag, A. Dernfalk, P. Nygren. Supraharmonics in the Presence of Static Frequency Converters Feeding a $16^{2}/_{3}$Hz Railway System. ICHQP 2020 – International Conference on Harmonic and Quality of Power.

[5] M. Vrana, J. Drapela, D. Topolanek, V. Vycital, M. Jurik, R. Blahusek, M. Kurfirt. Battery Storage and Charging Systems Power Control Supporting Voltage in Charging Mode. ICHQP 2020 – International Conference on Harmonic and Quality of Power.

Capítulo 6

Avaliação da microfiltração no tratamento de água com alto teor de sólidos totais

Bruna Dolabella Eustáquio
Kátia Cecília de Souza Figueiredo

Resumo: Considerando a presença de sólidos em suspensão um risco à preservação dos recursos hídricos, viu-se a necessidade de alternativas de tratamentos de águas contaminadas para remoção deste, como é o caso do Rio Doce, após o rompimento da barragem da mineradora Samarco. Nesse trabalho, fez-se a investigação da microfiltração como uma possibilidade de tratamento, que é um método de retenção física, onde a membrana funciona como barreira seletiva de acordo com a granulometria da partícula a ser retida. Sendo assim, avaliou-se a permeação de uma água sintética com 2291 mg/L de sólidos totais através de uma membrana com diâmetro de poro de 0,4 µm, assim como o mecanismo de incrustação a partir do modelo de Hermia e análise granulométrica dos sólidos que compunham a amostra. Com a permeação, obteve-se um fluxo de 182,6 L/hm^2 que, após o início, teve uma queda de 30% e se estabilizou, e um coeficiente de transferência de massa igual a 4×10^8 h/m^8. Além disso, o modelo de Hermia também apontou o mecanismo de incrustação como filtração com formação de torta, e a afirmação foi reforçada pela análise granulométrica que indicou um tamanho de sólido na ordem de 53 µm.

Palavras-chave: microfiltração; processo de separação por membranas; Rio Doce; sólidos suspensos totais; tratamento de água.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais gerados no beneficiamento de minério são de grande preocupação por parte das empresas e dos órgãos socioambientais. Um dos principais problemas é a presença de sólidos finos, que podem prejudicar a vida aquática quando em alta concentração no meio, por aumentar a turbidez da água. Este foi um dos parâmetros monitorados pelos órgãos ambientais e institutos de pesquisa com relação à qualidade do Rio Doce, após o rompimento da barragem da mineradora Samarco, localizada na cidade de Mariana, em Minas Gerais. Neste sentido, a busca por alternativas de tratamento de água contaminada por sólidos finos tornou-se atual, já que a sedimentação pode ser um processo extremamente lento, além de demandar grandes áreas nas estações de tratamento [1].

A microfiltração (MF) é um método de retenção física, onde a membrana funciona como barreira seletiva de acordo com o tamanho da partícula a ser retida. A força-motriz é um gradiente de pressão aplicado através da membrana, que separa a alimentação do permeado. As membranas utilizadas são poliméricas sintéticas e porosas, de modo que a distribuição de tamanho de poros é escolhida com base na espécie que se deseja reter [2].

A faixa de tamanho de poros na MF varia entre 0,1 e 10 μm, enquanto a diferença de pressão através da membrana é de até 3 bar [2]. Comparativamente à sedimentação, a microfiltração apresenta a vantagem de ser um processo que demanda menor área na estação de tratamento, além de ser modular, como os demais processos de separação por membranas, o que garante facilidade de partida e operação [3].

Uma das principais desvantagens da microfiltração é a tendência de incrustação da membrana, o que diminui sua vida útil e reduz a produtividade do processo como um todo. Dentre as alternativas para minimizar a incrustação estão o uso de membranas hidrofílicas, a prática de retrolavagem periódica e a limpeza química da membrana, quando for o caso [4]. Considerando a variedade de mecanismos capazes de promover a incrustação de membranas, como bloqueio de poros, adsorção, gelificação e formação de torta, é difícil, *a priori*, determinar qual é o método mais adequado para restabelecer o fluxo.

O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de uma membrana comercial de policarbonato com poros cilíndricos na microfiltração de uma solução sintética simulando a composição de turbidez e sólidos totais obtidos na água do Rio Doce em novembro de 2015. A partir dos dados obtidos, foi possível avaliar o mecanismo de incrustação apresentado pelo sistema em questão.

2. EXPERIMENTAL

2.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados foram membrana de policarbonato, com diâmetro de poro de 0,4 □m (Cyclopore, Track Etched), água sintética, preparada a partir de uma mistura de argila comercial, cloreto de alumínio e sulfato de ferro (II) e água deionizada.

2.2. PREPARO DA AMOSTRA DE ÁGUA SINTÉTICA

A partir dos resultados apresentados pelos relatórios ambientais [5], preparou-se a água sintética utilizando cloreto de alumínio, sulfato de ferro (II) e argila com as concentrações de 0,22, 0,58 e 2.280 mg/L, respectivamente. A amostra foi caracterizada em relação à turbidez, sólidos totais e condutividade [6].

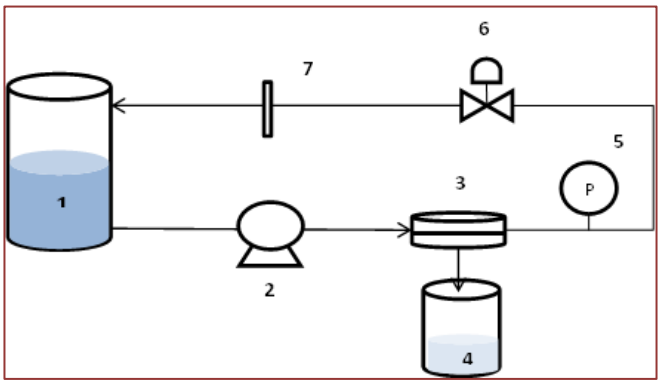
2.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A fim de avaliar a granulometria dos sólidos que estavam presentes na amostra, fez-se a devida análise por peneiramento de uma porção de 150 gramas de argila, utilizando uma série de peneiras na ordem de 270, 325 e 400 mesh.

2.4. TESTES DE PERMEAÇÃO

Os ensaios de permeação foram realizados no sistema ilustrado na Fig. 1. A alimentação foi bombeada até a célula de permeação, com área de 0,13 m^2, onde a corrente de permeado foi recolhida e o concentrado retornou ao tanque de alimentação após passar pelos medidores de pressão e de vazão.

Figura 1 – Esquema da montagem experimental utilizada nos testes de permeação. 1 – Tanque de alimentação, 2 – bomba, 3 – célula de permeação, 4 – saída de permeado, 5 – manômetro, 6 – válvula, 7 – rotâmetro.



Inicialmente, foram realizados testes de compactação da membrana com água pura, seguida da permeação da solução de água sintética preparada. O fluxo permeado foi calculado pela Eq. 1.

$$J = \frac{v}{At} \qquad (1)$$

Onde J é o fluxo permeado, em L/hm², v é o volume, em L, A é a área da membrana, em m² e t é o tempo, em horas. Para a determinação da permeabilidade hidráulica, Lp, em L/hm²bar, utilizou-se a Eq. 2, em que ΔP é a diferença de pressão através da membrana, em bar.

$$Lp = \frac{J}{\Delta p} \qquad (2)$$

O coeficiente de rejeição, baseado no valor de turbidez da amostra, foi determinado de acordo com a Eq. 3, onde R é o coeficiente de rejeição, C_P e C_A são os valores de turbidez da alimentação e do permeado, respectivamente.

$$R = 1 - \frac{C_P}{C_A} \qquad (3)$$

A determinação do mecanismo de incrustação foi realizada por meio de ajuste dos dados experimentais ao modelo de Hermia, conforme Tabela 1. A partir deste modelo, foi possível estimar o valor de k, coeficiente de transferência de massa para a filtração. A qualidade do ajuste foi avaliada a partir do coeficiente de correlação do modelo, R^2.

Tabela 1 – Equações do modelo de Hermia em função do tipo de incrustação [7]

Mecanismo	Modelo	Equação
Filtração com bloqueio completo dos poros	$\ln (J^{-1}) = \ln (J_0^{-1}) + kt$	(4)
Filtração com bloqueio padrão dos poros	$J^{-1/2} = J_0^{-1/2} + kt$	(5)
Filtração com bloqueio intermediário de poros	$J^{-1} = J_0^{-1} + kt$	(6)
Filtração com formação de torta	$J^{-2} = J_0^{-2} + kt$	(7)

Nas Equações 4 a 7, J_0 é o fluxo inicial, em L/m²h.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para a caracterização da água sintética preparada são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água sintética preparada

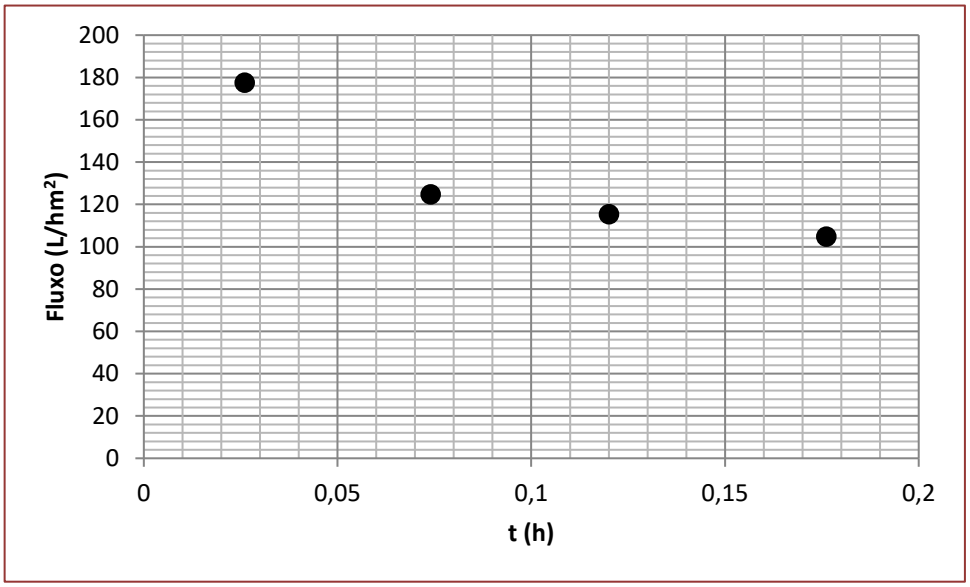
Parâmetro	Valor
Sólidos totais (mg/L)	2291
Turbidez (NTU)	2109
Condutividade (□S/m)	831,7

Os valores observados para a amostra sintética estão de acordo com aqueles reportados nos relatórios ambientais para a água do Rio Doce em novembro de 2015 [5].

A caracterização da membrana comercial com água pura revelou uma permeabilidade hidráulica de (188 ± 4) L/hm²bar. Para os testes com a água sintética, o comportamento do fluxo com o tempo é apresentado na Fig. 2. Observa-se uma queda do fluxo nos primeiros minutos de teste, houve uma queda de cerca de 30% do fluxo, que se estabilizou com o tempo.

A partir dos dados de turbidez da alimentação e do permeado, foi possível estimar um coeficiente de rejeição igual a 99,997%.

Figura 2 – Variação do fluxo permeado com o tempo



Condições do teste: □P = 0,2 bar, vazão da alimentação: 48 L/h, área da membrana: 0,13 m².

A partir dos ajustes das Eq. 4 a 7, Tabela 2, foi possível verificar que o mecanismo que governou a incrustação nas membranas foi o de formação de torta, sendo que o valor de R^2 para o ajuste foi de 0,9356, com coeficiente de transferência de massa igual a 0,0004 m^4h/L^2 e J_0 igual a 182,6 L/hm².

Tabela 2 – Ajuste do modelo de Hermia

Mecanismo	k	J_0	R^2
Filtração com bloqueio completo dos poros	3,3071	177,5	0,8528
Filtração com bloqueio padrão dos poros	0,1426	179,2	0,8752
Filtração com bloqueio intermediário de poros	0,0247	181,8	0,8968
Filtração com formação de torta	0,0004	182,6	0,9356

Em relação à análise granulométrica, o ensaio de peneiramento proporcionou os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da análise granulométrica

Abertura (µm)	Massa Retida (g)	Fração Retida (%)
53	118,5	79
44	29,9	19,9
37	0,5	0,33

Tais resultados reafirmam o ajuste apontado pelo modelo de Hermia, já que grande parte do material foi retido na primeira peneira, indicando que a granulometria média dos sólidos presentes na amostra é de aproximadamente 53 µm. Uma vez que a membrana utilizada apresenta um diâmetro de poro na ordem de 0,4 µm, fica evidente a impossibilidade de os grãos de argila bloquearem os poros da membrana, tornando possível apenas a formação de torta na superfície do material.

4. CONCLUSÕES

A membrana de microfiltração de policarbonato com poros cilíndricos apresentou uma permeabilidade hidráulica de (188 $\pm$ 4) L/hm^{2}bar e os resultados indicaram que o mecanismo de incrustação da solução sintética através da membrana foi o de formação de torta, com coeficiente de transferência de massa de 4 x 10^8 h/m^8 e um J_0 igual a 182,6 L/hm^2. A proposta foi confirmada a partir da análise granulométrica dos sólidos, que indicou um tamanho de grão na ordem de 53 µm, reafirmando o ajuste indicado pelo modelo de Hermia. Além disso, como o diâmetro de poro da membrana é na ordem de 0,4 µm, ficou evidente o bloqueio dos poros pelos grãos de argila.

A partir desse trabalho, é possível visualizar a aplicabilidade do uso de módulos maiores de membranas para a retenção de sólidos em águas contaminadas. Como trabalhos futuros, pode-se inserir testes com módulos de fibra oca no projeto, ampliando ainda mais a possibilidade de uso desse tipo de tratamento em plantas de porte industrial.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Departamento de Engenharia Sanitária da UFMG, à PUC/MG e ao DEQ/EE/UFMG pelo auxílio na realização da pesquisa. Os autores também agradecem à Fapemig, à Capes e ao CNPq (455330/2014-0).

REFERÊNCIAS

[1] B. CANCINO-MADARIAGA, J. AGUIRRE. *Desalination*. 2011, *279*, 285.

[2] A. C. HABERT, C. P. BORGES, R. NOBREGA. Processos de Separação por Membranas, E-papers, Rio de Janeiro, 2006, 1-180.

[3] R.W. BAKER. Membrane Technology and Applications, John Wiley & Sons, 2004.

[4] M. MULDER. Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, 1996.

[5] IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Acompanhamento da qualidade das águas do Rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG, 2015.

[6] APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 22 ed, 2012

[7] Y. KAYA, Z. B. GONDER, I. VERGILI, H. BARLAS. Desalination, 2010, 250, 150.

Capítulo 7

Coleta seletiva e educação ambiental: Como um aplicativo móvel pode auxiliar na implantação da política nacional de resíduos sólidos em um município

Marcos Rogério Ferreira

Resumo: Com a promulgação da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estão sujeitos a observação desta lei todos os responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos a desenvolverem ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. Nesse contexto a coleta seletiva se apresenta como uma ferramenta fundamental para o cumprimento da legislação vigente. Esta pesquisa analisa as principais leis e decretos que deverão nortear os gestores públicos municipais para a criação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Este trabalho apresenta um protótipo, para a criação de um aplicativo mobile, que poderá ser implementado por gestores públicos e ser utilizado como um canal de comunicação entre a prefeitura e seus munícipes. Se o planejamento tem como base a coleta seletiva, os principais atores nesse cenário são os cidadãos, então criar uma tecnologia que facilite a comunicação apresentando uma agenda de coleta seletiva, pontos de coleta especializada e um espaço para promover a educação ambiental deve ser prioridade.

Palavras chave: Educação Ambiental. Sustentabilidade. Coleta Seletiva. Aplicativos.

1. INTRODUÇÃO

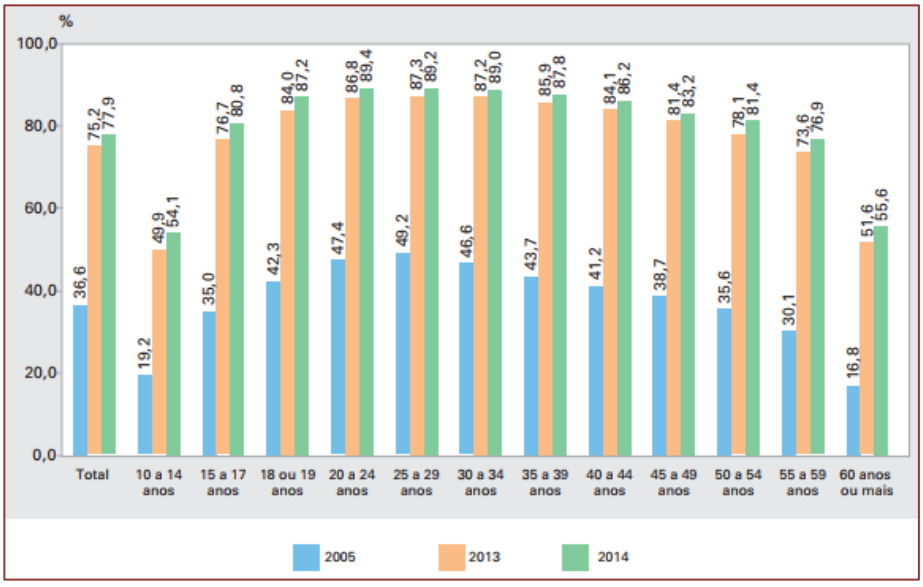
Na atual conjuntura, a sustentabilidade não se restringe somente a mais uma palavra bonita ou a uma bandeira que se levanta apenas por modismo casual. É um modo de vida que deve ser adotado por todos, pois é inaceitável, por exemplo, que o lixo urbano seja ainda negligenciado por cidadãos. Que a falta de educação ambiental seja responsável por pequenos atos que poderiam, em muito, auxiliar na sustentabilidade, como a própria separação do lixo doméstico e a participação ativa da coleta seletiva de resíduos sólidos. É preciso que o poder público auxilie as cooperativas de catadores que têm um papel fundamental na reciclagem, pois além de movimentar a economia do setor e aliviar a atividade de coleta realizada pela prefeitura, recolhe os materiais recicláveis para que possam ser reutilizados.

O governo federal tem apresentado leis e normas que orientam os governos estaduais e municipais no que tange à sustentabilidade, como a Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e "que dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos" (L12305, 2010)

Não se pode restringir somente em realizar eventos esporádicos sobre sustentabilidade, coleta seletiva e proteção ao meio ambiente, é preciso criar uma cultura, um estilo de vida mais sustentável. A falta de comunicação entre prefeituras e munícipes sobre a importância da coleta seletiva, separação de resíduos sólidos e educação ambiental é evidente quando se tem um número elevado de materiais recicláveis sendo encaminhados para os aterros sanitários, forçando os catadores a trabalharem em condições insalubres e perigosas.

Sem o apoio da população toda estratégia relacionada à coleta seletiva e sustentabilidade será fadada ao fracasso. Deste modo, este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta tecnológica para a criação de um aplicativo móvel, que possa ser implantada pelas prefeituras para se aproximar dos munícipes e tratar diretamente sobre os assuntos relacionados às questões ambientais, pois as famílias estão consumindo mais tecnologias como Smartphones e estão mais conectadas à internet (IBGE, 2016), conforme pode ser contatado na Figura 1.

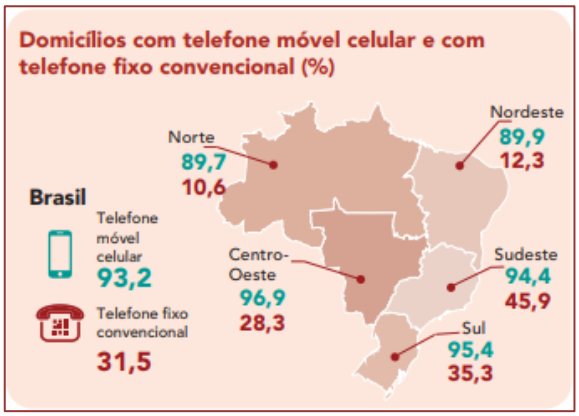
Figura 1: Acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal



Fonte: (IBGE, 2016)

Em 2016, já havia telefone móvel celular em 92,6% dos domicílios do país e, em 2017, o percentual aumentou para 93,2%. Com relação à parcela dos domicílios em que existia somente telefone fixo convencional, esta passou de 2,0% em 2016 para 1,7% em 2017 (IBGE, 2018).

Figura 2: Existência de telefones nos domicílios



Fonte: (IBGE, 2018)

A criação de um aplicativo para celular se apresenta como uma ferramenta poderosa para auxiliar na educação ambiental da população para uma vida mais sustentável, o que é uma obrigatoriedade como está disposto em lei, ou seja, é necessário que se tenha "[...] programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização, a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos sólidos [...]" (Decreto 7.404, 2010).

A proposta deste aplicativo poderá auxiliar também outros projetos como o Programa Reciclo, desenvolvido pelo Instituto das Águas do Paraná, que faz um convênio com as prefeituras para a reestruturação e aquisição de infraestrutura destinada à implantação de coleta seletiva e reciclagem como também a implantação de cooperativas de catadores.

> O Sistema Integrado de Coleta Seletiva, desenvolvido pelo Instituto das Águas do Paraná, além de promover a preservação do meio ambiente e se preocupar com a saúde pública, é inovador no que tange a sustentabilidade dos recicladores e conscientização da população através da educação ambiental. (ÁGUASPARANÁ, 2018)

Ter acesso a agenda de coleta de lixo pode afetar significativamente a manutenção em várias áreas de uma cidade. Quando o cidadão coloca seu lixo ele deve saber se a coleta será de lixo úmido ou seco, e também se é o dia correto de coleta. Lixo depositado para a coleta em dias errados podem ser extraviados por animais soltos como os cães e gatos. "Os cães, pelo fato de muitos destes serem abandonados e buscarem no lixo o único alimento disponível, espalham resíduos na rua" (VIEIRA, 2012). E com isso o lixo pode ser espalhado pela cidade causando outros problemas que afetarão ainda mais a população e a manutenção e limpeza.

O lixo espalhado nas ruas pode entupir esgotos e causar inundações em tempos chuvosos, gerando mais serviço para as secretarias municipais de infraestrutura. E quando levado pelo vento, como as sacolas plásticas, podem acumular água de chuva e contribuir para a proliferação de mosquitos, dentre os quais o aedes aegypti.

> A coleta de lixo urbana é uma das principais medidas sanitárias que ajuda a prevenir a proliferação de doenças em zonas urbanas e rurais. A presença humana em uma região é capaz de produzir um alto sortimento e volume de resíduos, que precisam ser coletados e devidamente tratados (SOBRAL, 2019).

A criação de um aplicativo que manterá uma agenda de horários de coleta de lixo seco, úmido e entulho por bairro, bastando para isso o cadastro do endereço do munícipe para receber os horários atualizados ou mudanças nos horários por falta de caminhão ou pessoal, por exemplo, evitando assim que o lixo fique por muito tempo exposto na rua e que sejam violados por animais destaca-se como sendo de grande valia.

O aplicativo também deverá permitir o cadastro de recicláveis. Assim, a cooperativa de catadores teria um mapa atualizado de coleta e seus cooperados passariam nas casas e realizariam a coleta desses materiais diretamente com o morador. Esta medida poderia impactar significativamente na economia daqueles que

trabalham com reciclagem gerando uma maior renda, pois muito material reciclável deixaria de ir para o aterro sanitário, o que aumentaria o número de empregados nesse segmento e a vida útil do aterro.

2. COLETA SELETIVA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL, RESPONSABILIDADE DE TODOS

Lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

> Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. (L12305, 2010)

Lei nº 9.795/1999. Política Nacional de Educação Ambiental. "Como parte do processo educativo mais amplo, todos têm direito à educação ambiental"

> Art. 1º Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.
>
> Art. 2º A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal. (L9795, 1999)

Decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a Lei no 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

> Art. 40. O sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos e a logística reversa priorizarão a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis constituídas por pessoas físicas de baixa renda.
>
> Art. 41. Os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos definirão programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda. (D7404, 2010)

3. SOBRE A CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Este estudo se baseia em uma pesquisa exploratória, mediante a análise de dados qualitativos focando no estudo das leis e decretos que fundamentam as principais ações que estabelecem normas e regras relacionadas à sustentabilidade, educação ambiental e coleta seletiva a serem implantadas nos municípios. A pesquisa apresenta um protótipo para a construção de um aplicativo mobile que reúne as principais ações para manter um diálogo entre prefeituras e seus munícipes.

3.1. USO DO APLICATIVO

O aplicativo poderá ser disponibilizado para download nas plataformas Android e IOS. O usuário poderá utilizar o aplicativo (app) sem se cadastrar para acessar as seções relacionadas à educação ambiental, ao mapa de coleta do município e aos pontos de coletas especializadas. Para ter acesso a todas as funcionalidades, o usuário deverá realizar o cadastro e informar qual seu bairro. Com isso, visualizará a agenda de coleta seletiva de sua localidade bem como a coleta de entulhos, e terá ainda funcionalidades relacionadas à comunicação com a prefeitura ou departamento responsável e à cooperativa de recicláveis.

3.2. PRINCIPAIS FUNÇÕES DO APLICATIVO

O usuário, depois de instalado o aplicativo em seu smartphone, terá acesso à tela principal, como mostra a Figura 3, onde poderá abrir a seção para visualizar o mapa de coleta seletiva do município, dias e horários e tipos de coleta. Terá acesso também às seções de pontos de coleta e educação ambiental. Nesta, o usuário poderá acessar vários artigos e vídeos instrutivos sobre sustentabilidade, meio ambiente, coleta seletiva, dentre outros temas que a gestão julgar pertinente. Na segunda tela, apresentada pela Figura 4, o usuário poderá visualizar onde há coleta especializada para que possa depositar o lixo que não poderá ir para o aterro e que também não é reciclável, como pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e lixos eletrônicos.

Quando cadastrado, o usuário receberá informações referentes às coletas do seu bairro, se houver mudanças, por motivos de manutenção de caminhões por exemplo, poderá se orientar para depositar seu lixo no dia correto. Também poderá visualizar a agenda de coleta do município. O usuário poderá cadastrar materiais recicláveis para que os catadores possam coletar diretamente em sua residência.

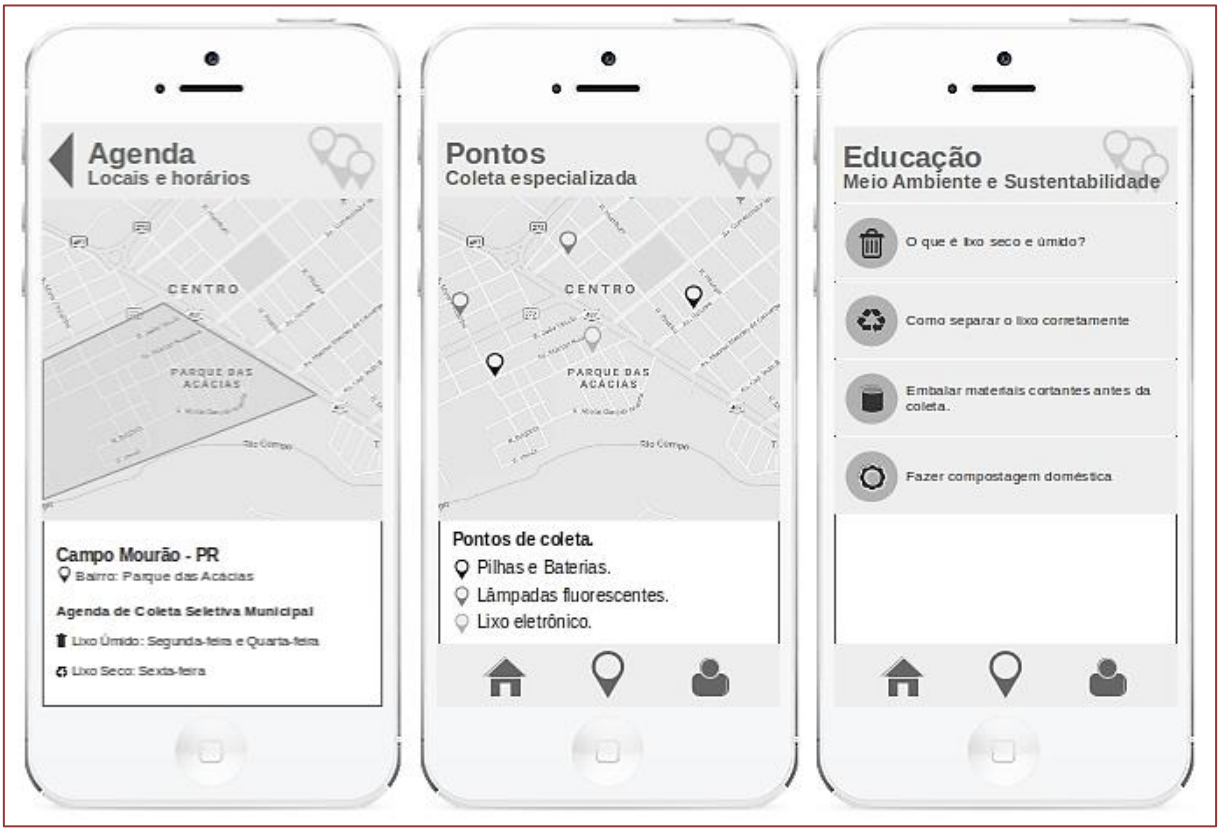
A prefeitura manterá atualizado no aplicativo o mapa com todos os pontos de coletas específicas, e incentivará a ampliação dos pontos criando outras categorias.

A seção destinada à educação ambiental deverá ser mantida pela prefeitura, que poderá criar mecanismos de cooperação com as escolas e a comunidade para gerar conteúdo destinado a educar a população sobre sustentabilidade e meio ambiente. Os temas poderão ser diversos como compostagem, separação dos recicláveis e hábitos sustentáveis. A prefeitura recebe as postagens e faz uma seleção para disponibilizá-las no aplicativo, bem como poderá criar concursos para geração de conteúdo.

Figura 3: Tela principal e de cadastro de usuários

Fonte: Autoria própria

Figura 4: Telas de agenda, pontos de coleta e educação ambiental



Fonte: Autoria própria

3.3. IMPLANTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO

O projeto contendo o aplicativo, o código-fonte e a documentação associada ficará disponível no acervo de Softwares do Governo Federal, mantido pelo "Portal do Software Público Brasileiro do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão" (SOFTWARE PÚBLICO, 2019).

O Software Público Brasileiro é um tipo específico de software livre que atende às necessidades de modernização da administração pública de qualquer dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e é compartilhado sem ônus no Portal do Software Público Brasileiro, resultando na economia de recursos públicos e constituindo um recurso benéfico para a administração pública e para a sociedade. (SOFTWARE PÚBLICO, 2019).

Parcerias com entidades públicas ou privadas, cujo ramo de atividades se relaciona com sustentabilidade, coleta seletiva e meio ambiente, como o Instituto das Águas e Instituto Ambiental do Paraná, também poderão utilizar o projeto do aplicativo e ou incentivar seu uso por gestores, que buscam novas técnicas ou ferramentas para otimizar a coleta seletiva em seus municípios.

4. CONCLUSÃO

Criar uma cultura de coleta seletiva em um município, vai muito além de alguns trabalhos esporádicos de conscientização. Vale lembrar que o Governo Federal já estabeleceu normas e diretrizes que apresentam, inclusive, os responsáveis à observância dessas leis como está previsto na Lei 12.305 em seu Art. 1º parágrafo 1º "Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos." E também como é apresentado no Decreto no 7.404 em seu Art. 7º: "O Poder Público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos [...]".

No final a responsabilidade de criar uma cultura mais sustentável aplicar coleta seletiva, desenvolver políticas públicas e planejamento urbano ficará a cargo do poder público como está previsto em lei.

Como esta pesquisa apresenta um protótipo que poderá ser implementado por qualquer gestor público que queira utilizar um aplicativo como ferramenta de comunicação entre a prefeitura e seus cidadãos. A ideia é que o aplicativo seja desenvolvido de acordo com a região ou cidade, tratando também das especificidades do local e que possa ser disponibilizado em plataforma pública para que possa ser utilizado por outros gestores. Apresenta-se neste protótipo alguns direcionamentos para sua implementação que também possa suprir as exigências previstas em Lei.

REFERÊNCIAS

[1] AGUASPARANÁ - INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, Programa Reciclo: Sistema Integrado de Coleta Seletiva. Disponível em : <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=326> Acesso em: 14 dez. 2018.

[2] BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 14 dez. 2018.

[3] BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9795.htm>. Acesso em: 02 dez. 2019.

[4] BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 14 dez. 2018.

[5] FRAGA, Simone Carvalho Levorato. Reciclagem de Materiais Plásticos: Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sociais. 1 ed. São Paulo : Érica, 2014.

[6] IBGE. Acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal : 2014 / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. – Rio de Janeiro : IBGE, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95753.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2018.

[7] IBGE. Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2017. Rio de Janeiro: 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631_informativo.pdf> Acesso em: 20 dez. 2018.

[8] SOBRAL, Marcos Felipe Falcão; SOBRAL, Ana Iza Gomes da Penha. Casos de dengue e coleta de lixo urbano: um estudo na Cidade do Recife, Brasil. Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro , v. 24, n. 3, p. 1075-1082, Mar. 2019 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232019000301075&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06/08 2019.

[9] SOFTWARE PÚBLICO. Portal do Software Público Brasileiro, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Disponível em: <https://softwarepublico.gov.br/social/>. Acesso em: 05 jan. 2019

VIEIRA PC. SILVEIRA JLG, RODRIGUES FF. Percepção e hábitos relacionados ao lixo doméstico entre moradores da comunidade do Coripós, Blumenau, SC. V. 15 N. 1 (2012). Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/aps/article/view/14779>. Acesso em: 03/08/2019.

Capítulo 8

Correlação e calibração de modelo estrutural de componente em polipropileno submetido a ensaio de torção

Gabriel Scomparin Silva
Ernesto Massaroppi Júnior

Resumo: Os polímeros têm sido amplamente utilizados na fabricação dos mais diversos itens e, com isso, a indústria pode otimizar tanto material quanto tempo de desenvolvimento de produtos. O projeto de estruturas envolve não apenas o conhecimento dos esforços atuando em seus elementos, mas também o conhecimento do comportamento e das propriedades do material que as compõe. Com isso, surge a necessidade de se caracterizar mecanicamente o material. O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo estrutural, usando análises por elementos finitos, para representar esforços de torção em um componente real fabricado em polipropileno homopolímero. Posteriormente, calibrar o modelo utilizando dados da curva tensão-deformação do material, obtida através do ensaio de tração. Finalmente, comparar os resultados do modelo com aqueles do ensaio experimental.

Palavras-chave: Análise por elementos finitos, ensaio de tração, ensaio de torção, propriedades mecânicas, polipropileno.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de produtos na indústria moderna precisa ser realizado de forma econômica, rápida e robusta. Os componentes mecânicos simples podem ser analisados e projetados através de soluções analíticas. Entretanto, soluções analíticas são inviáveis para componentes não triviais. Nestes casos, métodos numéricos e experimentação são possíveis alternativas [1]. O método dos elementos finitos computacional é uma das técnicas utilizadas para solução de problemas estruturais complexos [2]. O comportamento estrutural não depende somente da forma dos componentes e das cargas atuantes, mas também do comportamento dos materiais que os compõem. Portanto, é vital possuir dados precisos de propriedades dos materiais. Como são características inerentes ao material, são necessários métodos experimentais para obtê-los [3]. Os polímeros podem ser produzidos com relativo baixo custo e com propriedades administráveis. Com isso, revolucionaram o campo dos materiais, sendo utilizados em substituição aos materiais tradicionais [4]. Uma das grandes características dos polímeros é a versatilidade. Entre os diversos polímeros existentes no mercado, o polipropileno (PP) é o segundo mais utilizado no mundo, contando com uma grande variedade de aplicações [5, 6]. O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo estrutural, usando análises por elementos finitos, para representar esforços de torção em um componente real fabricado em polipropileno homopolímero. Posteriormente, calibrar o modelo utilizando dados da curva tensão-deformação do material, obtida através do ensaio de tração. Finalmente, comparar os resultados do modelo com os resultados do ensaio experimental.

2. EXPERIMENTAL

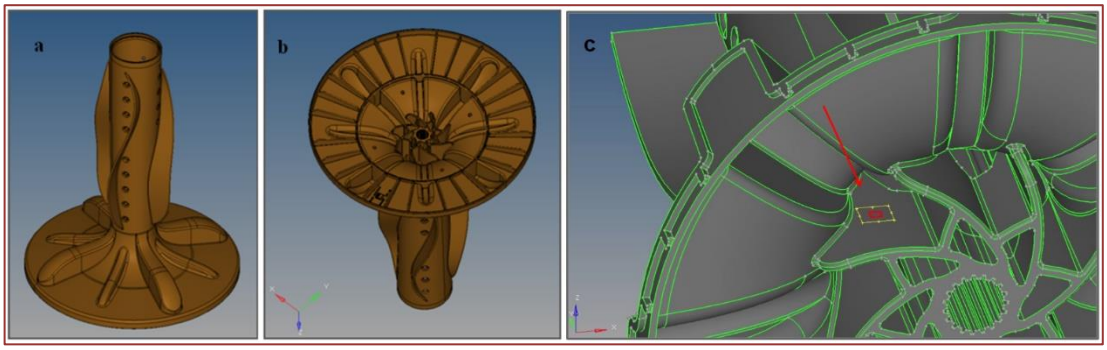
2.1. SIMULAÇÃO ESTRUTURAL DO COMPONENTE EM ESTUDO SUBMETIDO AO ENSAIO DE TORÇÃO

O modelo do componente em estudo foi construído em elementos tetraédricos de segunda ordem, SOLID92 da biblioteca de elementos do software Ansys 17®, considerando densidade de malha de pelo menos três elementos na espessura, nas regiões consideradas críticas. Considerou-se uma curva tensão-deformação do polipropileno, obtida do ensaio de tração sem utilização de extensômetro (por indisponibilidade do equipamento). Considerou-se modelo de material multilinear elástico, disponível na biblioteca do software Ansys 17®. O eixo inferior de acoplamento foi simplificado, considerando elementos PIPE16 para sua modelagem, com propriedades típicas do aço. O eixo superior foi suprimido do modelo, sendo consideradas restrições de translação nas três direções nos pontos de interface entre o eixo e o corpo de provas. Foi aplicado torque de 84 N.m, na direção positiva do eixo vertical (y), no nó central dos elementos que modelam o eixo inferior. O modelo foi configurado para considerar grandes deslocamentos.

2.2. DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE MEDIÇÃO DE DEFORMAÇÃO EXPERIMENTAL E COLAGEM DA ROSETA

O modelo do agitador que foi utilizado no estudo é mostrado na Fig. 1. Foi avaliado o campo de tensão resultante da análise por elementos finitos do modelo, buscando encontrar-se as regiões de máximas tensões. Após serem encontradas, avaliou-se em quais seria possível efetuar a colagem de extensômetros elétricos em forma de roseta. Optou-se pela região indicada pela seta vermelha na Fig. 1c, na qual o segundo maior nível de tensões está presente e com fácil acesso para a colagem.

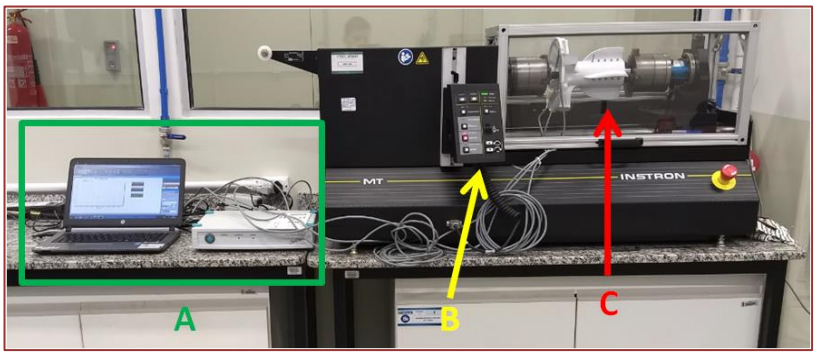
Figura 1 – Modelo de agitador selecionado para estudo: a) Vista frontal, b) Vista da porção inferior, c) Região de colagem da roseta



2.3. ENSAIO DE TORÇÃO DO COMPONENTE

Dois eixos adaptadores foram confeccionados para possibilitar a instalação do corpo de provas ao equipamento de ensaio. Os eixos adaptadores foram acoplados ao corpo de provas e o conjunto foi posicionado no equipamento. Foi definido o torque máximo de 84 N.m, a uma taxa de aplicação de 16,25 N.m/s, para representar aproximadamente a taxa de deformação ao qual o material foi submetido no ensaio de tração. O sistema de aquisição de deformação não estava sincronizado ao de aquisição de torque da máquina e, por isso, a sincronização foi feita manualmente. Para tanto, a máquina foi configurada para manter o torque máximo por 10 s, valor suficiente para gerar um patamar de torque e deformação para garantir a sincronização. Para início do ensaio, a posição angular e o torque inicial foram aproximados manualmente de zero. A taxa de aquisição foi configurada para 50 Hz, comum a ambos os sistemas, facilitando-se a sincronização e a análise dos dados. Armazenaram-se dados de torque, posição angular e tempo. Na Fig. 2 é mostrado o sistema de aquisição, sendo: (A) - composto por laptop e dispositivo de aquisição de dados (Spider 8 - HBM), (B) - máquina de ensaios e (C) - peça em estudo posicionada na máquina.

Figura 2 – Banco de Ensaios: A) Sistema de aquisição de deformação, B) Equipamento de ensaio, C) Corpo de prova



2.4. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROCESSO E INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

Para reproduzir-se nos corpos de prova, aproximadamente, a mesma condição de processo, que ocorrem na região crítica da peça em estudo, utilizou-se a carta de parâmetros de processo de injeção desta, além da simulação da injeção por elementos finitos. A peça e seu sistema de injeção foram modelados no software Moldflow 2014®, no qual foram considerados como dados de entrada os parâmetros de processo. A pressão na região crítica foi medida ao longo do tempo, considerando-se o valor máximo obtido. Foi então modelado o corpo de provas com seu respectivo sistema de injeção. A pressão de injeção foi manipulada de forma a se obter na região central do corpo de provas a mesma pressão máxima obtida para a região crítica da peça.

2.5. ENSAIO DE TRAÇÃO COM EXTENSÔMETRO

O ensaio de tração foi realizado em uma máquina MTS Sintech 10/D, equipada com célula de carga de 500 kgf, fornecida pela Panantec, modelo S, código 17156 e extensômetro MTS 632.11F-50. Foram utilizados corpos de prova do tipo I, padrão ASTM D638. O ensaio foi realizado de acordo com a ASTM D638 [7], sendo a velocidade de deslocamento de garra de 5 mm/min.

2.6. CALIBRAÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL DO COMPONENTE UTILIZANDO A CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO PP

O modelo estrutural do ensaio de torção foi calibrado incluindo-se as propriedades mecânicas obtidas através do ensaio de tração com extensômetro.

2.7. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS COM OS OBTIDOS DOS ANTES E APÓS A CALIBRAÇÃO

Compararam-se a primeira deformação e a direção principais obtidas experimentalmente com as obtidas pela análise por elementos finitos, para a região de colagem da roseta. Calculou-se a divergência entre os resultados experimentais e simulados de deformação através da Eq. 1

$$\Delta\varepsilon\ \% = \left(\frac{\varepsilon_{1(experimental)} - \varepsilon_{1(simulação)}}{\varepsilon_{1(experimental)}}\right).100 \qquad (1)$$

e a divergência entre direção principal experimental e via simulação através da Eq. 2.

$$\Delta\phi\ \% = \left(\frac{\phi_{(experimental)} - \phi_{(simulação)}}{\phi_{(experimental)}}\right).100 \qquad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

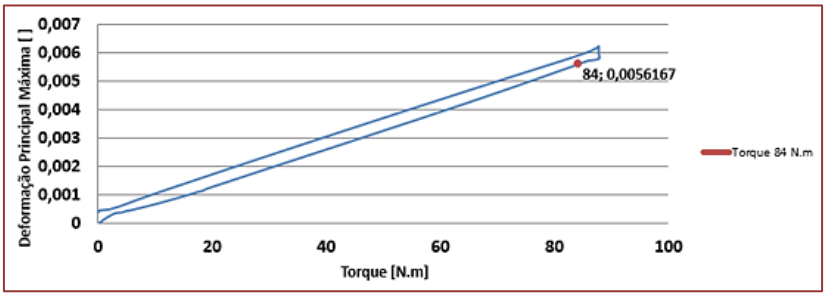
3.1. SIMULAÇÃO ESTRUTURAL DO COMPONENTE EM ESTUDO SUBMETIDO AO ENSAIO DE TORÇÃO

No modelo estrutural, o maior nível de deformação ocorre na região próxima ao cubo, onde é feito o acoplamento com o eixo inferior. A região de colagem da roseta apresenta o segundo maior nível de deformação. Encontrou-se um pequeno gradiente de deformações na região de colagem da roseta, sendo atingida deformação de 0.008502 na região central da colagem.

3.2. ENSAIO DE TORÇÃO DO COMPONENTE

Na Fig. 3 é mostrada a curva de deformação principal máxima em função do torque. Obteve-se a deformação de 0,0056167 para o torque de 84 N.m, como pode ser observado no gráfico. A partir dos valores de deformação obtidos do modelo estrutural e do ensaio de torção calculou-se a diferença entre ambos, utilizando a Eq. 1, tendo sido encontrada a diferença de 51,4%. A direção principal obtida do modelo foi de 12,76° em relação ao eixo vertical (direção y) e na medição experimentalmente obteve-se a direção de 12,65°. A partir da Eq. 2 calculou-se a divergência entre ambas, resultando em uma diferença de 0,9%.

Figura 3 – Deformação Principal Máxima no corpo de provas do ensaio de torção para o torque de 84 N.m



3.3. DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROCESSO E INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO

Através da simulação do processo de injeção, foram obtidos os parâmetros expressos na Tabela 1.

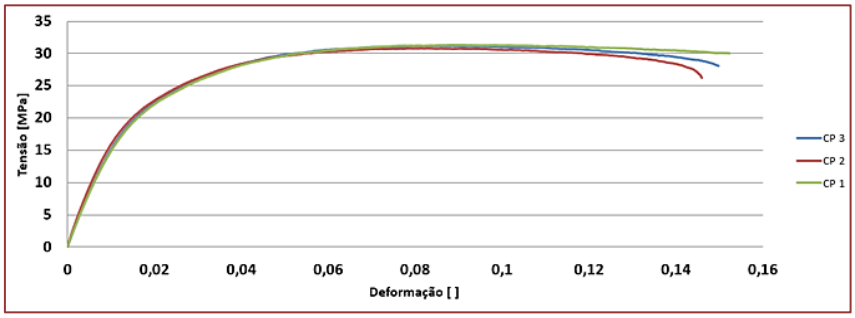
Tabela 1 - Parâmetros de Injeção dos Corpos de Prova de Tração e Fadiga

Parâmetro	Valor	Unidade
Temperatura na Zona de Alimentação	200	ºC
Temperatura do Canhão	220	ºC
Temperatura do Bico de Injeção	235	ºC
Pressão de Injeção	48,1	MPa
Tempo de injeção	2,8	s
Vazão de Injeção	28	cm^3/s
Pressão de Compactação	48,1	MPa
Temperatura do Molde	30	ºC
Tempo de Resfriamento	8,0	s

3.4. ENSAIO DE TRAÇÃO COM EXTENSÔMETRO

Os resultados do ensaio de tração de três corpos de prova são mostrados na Fig. 4, no qual nota-se uma grande sobreposição das curvas, sobretudo antes do escoamento. O polímero apresentou comportamento dúctil, linearidade na curva tensão-deformação até aproximadamente 15 MPa. O comportamento não linear foi acentuado após o escoamento. O ensaio foi interrompido quando se atingiu o limite operacional do extensômetro. A Tabela 2 apresenta os valores do módulo de elasticidade (E) e da tensão de escoamento (σ_e) para cada corpo de prova.

Figura 4 - Curvas Tensão-Deformação do Polipropileno Homopolímero (PP)



3.5. CALIBRAÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL DO COMPONENTE UTILIZANDO A CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO PP

Após utilização dos dados obtidos do ensaio de tração com extensômetro, a região de colagem da roseta continuou a apresentar o segundo maior nível de deformação, porém em menor magnitude. Foi obtida deformação de 0.004751 na região central da colagem, para o torque de 84 N.m. O cálculo através da Eq. 2 foi realizado novamente, sendo encontrada a divergência de 15,4% entre modelo e experimento. As direções principais se mantiveram inalteradas.

3.6. TESTE DE CONVERGÊNCIA DE MALHA

O modelo completo foi composto por 3.153.180 elementos, posteriormente foram gerados submodelos para a região de colagem da roseta. Obteve-se a convergência da malha para o submodelo 3. A diferença dos resultados de deformação apresentada em relação ao submodelo 2 foi de 0.15%,. O número de elementos e valores de deformação são mostrados na Tabela 3.

Tabela 2 – Módulo de elasticidade (E) e tensão de escoamento (σe) para os CPs do ensaio de tração

	E [GPa]	σ_e [MPa]
CP1	1,58	31,25
CP2	1,78	30,82
CP3	1,62	31,12
Média	1,66	31,06
Desvio Padrão	0,11	0,22

Tabela 3 – Número de elementos, valores de deformação e diferenças para a convergência de malha.

	Modelo Inicial			Modelo Calibrado		
	Nº Elementos	**Deformação**	**Diferença [%]**	**Nº Elementos**	**Deformação**	**Diferença [%]**
Modelo Compl.	3.153.180	0,008332	-	3.153.180	0,004702	-
Submodelo 1	7.140	0,008332	-	7.140	0,004702	-
Submodelo 2	15.938	0,008489	1,85	15.938	0,004745	0,91
Submodelo 3	35.376	0,008502	0,15	35.376	0,004751	0,13

4. CONCLUSÕES

Os resultados entre os corpos de prova são muito próximos, tanto que em alguns trechos as curvas se sobrepõem, o que permite concluir que o processo de injeção foi bastante estável e produziu CPs de microestrutura muito próximas. Os resultados de deformação, obtidos no ensaio de torção estática, do corpo de prova retirado do componente real, apresentaram divergência de 51,4% em relação aos resultados obtidos pelo modelo inicial. Os resultados de direção principal apresentaram boa correlação, com diferença menor que 0,9%. Após a correção do modelo com a curva tensão-deformação, a divergência foi reduzida para 15,4%, não tendo sido alteradas as direções principais medida e simulada, ficando demonstrada a importância do extensômetro no ensaio de tração. As deformações encontradas se localizam na região linear da curva tensão-deformação.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). À Whirlpool S.A pelo fornecimento de materiais, laboratórios e financiamento dos corpos de prova e, conjuntamente, ao Laboratório de Mecânica Aplicada e Computacional do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos/USP pela colaboração com software, *hardware*, licenças e normas para realização dos estudos. Ao SENAI de Joinville-SC pela disponibilização do equipamento para realização do ensaio de torção.

REFERÊNCIAS

[1] BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. Elementos de Máquinas de Shigley, 10. ed. Ed. Mc Graw-Hill, 2016.

[2] FILHO, A. A. Elementos finitos – a base da tecnologia CAE. São Paulo: Érica, 2007.

[3] HIBBELER, R. C.; Resistência dos Materiais, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2010.

[4] W. D. Callister Jr., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução, LTC, Rio de Janeiro, 2002.

[5] BRASKEM. Polipropileno Verde: Relatório Anual e de Sustentabilidade 2010. Disponível em: <http://www3.braskem.com.br/upload/rao/2010/pt/polipropileno-verde.html>. Acesso em: 30 mar. 2015.

[6] BNDES. A Situação Atual e Futura da Indústria de Polipropileno. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/polipr2a.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2015.

[7] AMERICAN NATIONAL STANDARD. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2003, (ASTM D-638).

Capítulo 9

Avaliação da remoção do corante de azul de metileno utilizando um resíduo de baixo custo (Limnoperna fortunei)

Daniel Mantovani
Luís Fernando Cusioli
Alexandre Diório
Rafael Germano Dal Molin Filho
Daniel Angelo Longhi

Resumo: O mexilhão dourado é uma espécie originária da China, que se espalhou pela Ásia e América, causando vários impactos econômicos, bem como um desequilíbrio ecológico. Globalmente, a aplicação das espécies invasoras foi investigado para mitigar os problemas causados, e o presente trabalho avalia o uso da casca de mexilhão dourado na remoção do azul de metileno de águas contaminadas. O material era caracterizado pela análise de microscopia eletrônica de varredura, fluorescência de raios-X, transformada de Fourier espectroscopia de infravermelho e potencial zeta, indicando características favoráveis para a adsorção de poluentes. Quanto aos estudos de adsorção, foi verificado o ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem, resultando em capacidade de adsorção de 26,4 mg g–1 no tempo de equilíbrio de 300 min e 0,03 g de adsorvente. O modelo de Henry foi aplicado a 25 ° C, 35 ° C e 45 ° C, indicando o efeito favorável de aumento da temperatura. Assim, observa-se o potencial da utilização deste material como adsorvente de águas contaminadas.

Palavras-chave: Mexilhão dourado; Fortuna Limnoperna; Adsorção; Azul de metileno; Efluente.

1. INTRODUÇÃO

A poluição da água ocorre quando produtos químicos, como fertilizantes, corantes, pesticidas e derivados de petróleo atingem a água corpos. Essas substâncias são encontradas em efluentes, devido à inadequação tratamento, e são produzidos em atividades antrópicas tais como agricultura e atividades industriais e domésticas (CRINI, 2008). As atividades industriais são as maiores consumidoras de água e, consequentemente, produz uma quantidade considerável de efluente que precisa de tratamento adequado antes de ser lançado no meio ambiente. Os têxteis, papel e celulose e polímero indústrias usam diversos tipos de corantes em seus produtos (CRINI, 2001), o lançamento desses efluentes não afetam apenas a estética do ambiente, mas também a infiltração da luz solar na superfície da água, o que leva a uma redução da fotossíntese atividade. Desta forma, este processo causa vários impactos aos organismos aquáticos devido à insuficiência de oxigênio (NAMASIVAYAM, 2001).

O azul de metileno (AM) é um corante catiônico amplamente utilizado em atividades antrópicas nas indústrias têxteis. Quando ingerido, AM produz uma sensação de queimação e pode causar náuseas, vômito, diarreia e gastrite. No ambiente, AM tem vários efeitos prejudiciais quando presente na água corpos (MA, 2004)]. Desta forma, é possível enfatizar a importância de realizar o tratamento de efluentes industriais para remoção AM e outros corantes. O tratamento visa prevenir que o os poluentes do efluente chegam aos corpos d'água e, portanto, prevenir a deterioração ambiental e a saúde humana danos. As metodologias de remoção que visavam o tratamento de efluentes contaminados por AM são coagulação / floculação, fotocatálise, foto-Fenton, eletro-Fenton e adsorção (SUMALINOG, 2019).

A adsorção é considerada um processo de tratamento promissor devido ao seu baixo custo, design simples e fácil operação. No entanto, para o tratamento de efluentes, o material adsorvente deve apresentar características de alta térmica e resistência física, bem como afinidade com a substância a ser adsorvido, escolhendo assim o adsorvente dependente de uma série de fatores. Portanto, o material deve ter alta disponibilidade de sites de adsorção e uma grande quantidade de carbono e oxigênio. A diversidade de matérias-primas que podem ser usadas no desenvolvimento de adsorventes torna-o interessante para explorar a biomassa residual, e este conceito levou a popularidade do termo 'adsorventes de baixo custo' (AZZAZ, 2017).

Neste estudo, optamos por produzir um adsorvente de baixo custo da casca do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*). O mexilhão dourado é um invasor de água doce generalizado mexilhão da China e se espalhando de forma invasiva para muitos asiáticos e países da América do Sul pela descarga de lastro de navios água contendo altas concentrações de larvas de mexilhão (OLIVEIRA, 2011). Invade facilmente as instalações de transferência de água e anexa em paredes de concreto e estruturas com estruturas extremamente densidade, resultando em incrustação biológica, corrosão da estrutura, tubo entupimento, diminuição da eficiência de transferência de água, poluição da água, e outras desvantagens, e se tornou um prevalente problema que está causando preocupação global (YAO, 2017). Este mexilhão vem causando muitos prejuízos devido à sua incrustação no vaso cascos, tanques e redes de pesca. Várias tentativas de eliminar os mexilhões dourados ficaram frustrados, então a melhor proposta em a visão do pesquisador é encontrar usos possíveis para esta invasão molusco às atividades produtivas (WACHHOLZ, 2017).

Atualmente, conchas de diferentes espécies de mexilhões são sendo usado para remover metais pesados e corantes têxteis de água contaminada (HADDAD, 2014). No entanto, não se sabe de relatos que usam na biomassa natural do mexilhão dourado concha (*Limnoperna fortunei*) como material adsorvente de água poluente. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do corante AM do aquoso amostras usando a biomassa de *Limnoperna fortunei* como um baixo custo adsorvente.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. PREPARAÇÃO DO ADSORVENTE DA CASCA DO MEXILHÃO DOURADO

A casca do mexilhão dourado foi obtida na Usina Hidrelétrica de Rosana, São Paulo, Brasil. O geográfico as coordenadas da usina hidrelétrica são 22 ° 36′07 ″ S e 52 ° 52 20 ″ W. Em primeiro lugar, as cascas foram lavadas manualmente com água da torneira por 30 min em temperatura ambiente. O processo de lavagem foi repetido 6 vezes para remover impurezas solúveis em água. Então, as cascas foram secas em uma incubadora com circulação de ar (SXCR 42, Sterilifer ©, Brasil) a 80 ° C por 24 h. Depois disso, as conchas foram moídas usando um liquidificador e peneirado em diferentes tamanhos de malha em um tipo de agitador (Bertel). Para os experimentos, a partícula média tamanho de 600 µm foi escolhido como o tamanho de partícula no qual a maioria das partículas foi retida.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

As características morfológicas da superfície do adsorvente de casca de mexilhão dourado (GMA) foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com o auxílio de um Quanta Microscópio FEI, modelo 250, operando a 25 kV. Por esta análise, as amostras foram cobertas com ouro em uma espessura de aproximadamente 30 nm. O potencial zeta foi medido usando uma amostra com 0,05 g de adsorvente em 50 mL de água usando um Delsa ™ NanoC por equipamento Beckman Coulter (TM). O pH foi medido usando um medidor de pH (medidor de bancada OrionTM Versa Star, Thermo ScientificTM, EUA). O pH foi ajustado de 3 a 12, com HCl 0,1 M e / ou NaOH 0,1 M. Para caracterizar os grupos funcionais presentes na casca de mexilhão dourado, infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) espectrômetro (PerkinElmer Spectrum100, EUA). Os comprimidos foram preparados misturando amostras de pó com KBr (Sigma-Aldrich) na proporção de 1: 100 (p / p). O espectral a faixa variou de 4.000 a 400 cm^{-1}. A análise de fluorescência de raios-X (FRX) do ouro casca de mexilhão empregou um espectrômetro modelo Bruker S8 Tiger 4 kW. Para esta análise, 1,0 g das amostras de solo foram misturados com 20 g de ácido bórico em um almofariz de ágata e, após homogeneização, 7,0 g da mistura foi comprimida em uma pelota antes da análise.

2.3. ADSORÇÃO DE AM

A adsorção de AM usando casca de mexilhão dourado foi conduzida em um sistema fechado e em lote. Os experimentos foram realizada com 25 mL de amostras de solução AM preparadas em uma concentração de 50 mg L^{-1} em água destilada em Erlenmeyer frasco com rolha. Os frascos foram agitados em um shaker (QUIMIS® 0022MI, Brasil) a 150 rpm, em temperatura ambiente, por 24 h. Os ensaios de adsorção foram realizados com diferentes massa adsorvente: 0,03, 0,05, 0,1, 0,2 e 0,4 g. As amostras foram coletadas após 24 h e, em seguida, filtradas através de um filtro de acetato de celulose (poro de 0,45 µm de diâmetro) para remova o adsorvente. Após a filtragem, a amostra foi então medido por um espectrofotômetro UV-Vis (HACH DR 5000) em um comprimento de onda de 665 nm. Todos os ensaios foram realizados em duplicatas. A capacidade de adsorção de AM (mg g^{-1}) foi calculada usando a Eq. (1):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e).V}{m} \quad (1)$$

Na Eq. (1), C0 é a concentração inicial de AM (mg L^{-1}),Ct é a concentração de equilíbrio na solução (mg L^{-1}) no tempo t, V é o volume da solução (L), e m é sorvente massa (g). O estudo cinético foi realizado em lote com o adsorvente massa que resultou no melhor qe, em contato com 25 mL de solução de 50 mg L^{-1} AM, mantida em velocidade de agitação de 150 rpm e temperatura controlada de 25 ° C. A Hora intervalos para retirada das alíquotas do analisado as amostras duraram 1-720 min, os frascos foram agitados com o auxílio de uma mesa agitadora orbital após o tempo de contato, o AM final as leituras de concentração foram realizadas conforme descrito acima, usando um espectrofotômetro a 665 nm, e os testes foram realizado em duplicatas. Para explicar o mecanismo cinético, os dois mais conhecidos modelos foram aplicados aos dados experimentais: o pseudo-primeiro ordem, proposta por Lagergren (HO, 2004), e pseudo-segunda ordem de pedido, proposto por Ho e McKay (HO, 1999), que são apresentados pelas Eqs. (2) e (3), respectivamente.

$$q_t = q_e[1 - e^{-k1t}] \quad (2)$$

Onde k_1 é a constante da taxa de adsorção de primeira ordem (min^{-1}) e qe e qt são as quantidades adsorvidas por g de adsorvente no equilíbrio e no tempo t, respectivamente (mg g^{-1}).

$$q_t = \frac{k_2 q_{e_t}^2}{1 + k_2 q_{e_t}^2} \quad (3)$$

Onde k_2 é a constante da pseudo-segunda ordem taxa de adsorção (g mg^{-1} min^{-1}).

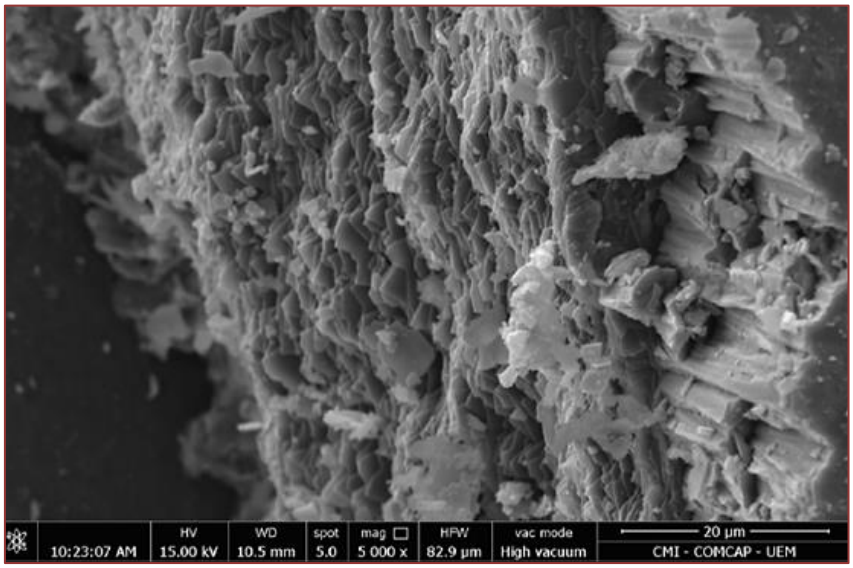
As isotermas de equilíbrio foram obtidas em temperaturas de 25 ° C, 35 ° C e 45 ° C. Os testes foram realizados com Concentração de AM de 5 a 200 mg L^{-1} que variou em um volume de solução de 25 ml. As amostras foram agitadas em um tremor incubadora (modelo TE-4200 TECNAL) a 150 rpm e o tempo de contato foi de 720 min. Uma aplicação da constante de Henry foi realizada. A isotérmica de Henry é um modelo de isotérmica adsorvente linear em que a quantidade de adsorvato de superfície é proporcional à concentração de adsorbato no fluido em equilíbrio condições (AYAWEI, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ADSORVENTE

A Figura 1 mostra as imagens MEV da concha do mexilhão dourado com ampliação de 5.000 ×. O MEV da amostra mostrou que a morfologia não tinha forma regular e tamanho e heterogeneidade de poros apresentada.

Figura 1: Estrutura morfológica da concha do mexilhão dourado

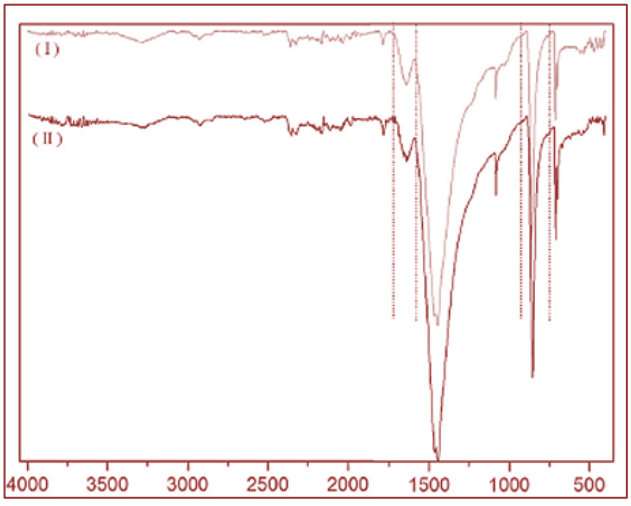


Fonte: Autor 2020

As amostras apresentava superfície irregular com poros abertos, sendo favorável à capacidade de adsorção do adsorvente.

A figura 2 mostra a análise de FTIR onde os grupos funcionais presentes na casca do mexilhão dourado foram determinados antes e depois da adsorção de AM.

Figura 2: Espectros FTIR da casca do mexilhão dourado antes e depois da adsorção de AM



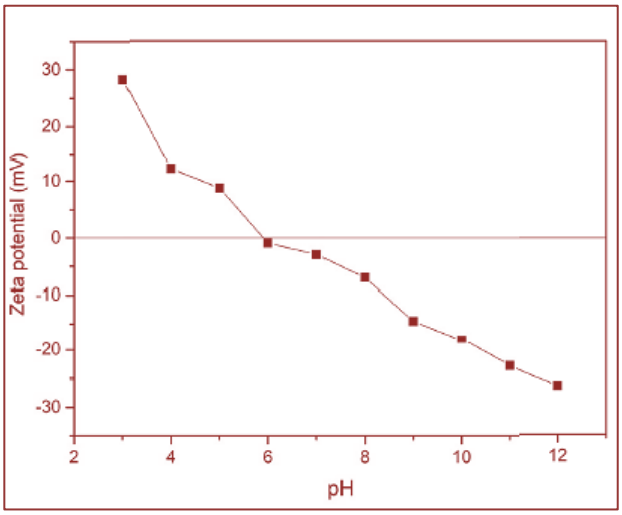
Fonte: Autor 2020

É visto que o espectro da casca do mexilhão dourado mostrou uma banda de transformação de Fourier característica em 1.483 cm^{-1}, que foram atribuídas à ligação C–O dos grupos carbonato presentes em abundância na casca. A banda larga em 3.279 cm^{-1} indicou a presença de ligações de hidrogênio (OH) devido às moléculas de água adsorvidas na superfície da casca do mexilhão dourado. O pico presente na região de 2.923 cm^{-1} indicou a presença de uma ligação C–H devido à composição proteica do adsorvente [26]. Vibrações observadas na faixa de 1.647, 1.448 e 850 cm^{-1} referem-se a ligações de CO carbonato fora do plano e em 713 cm^{-1} de flexão plana, bem como as vibrações detectadas em 1.780 e 1.082 cm – 1 relacionado às ligações CO do carbonato íons. Finalmente, as vibrações encontradas no comprimento de onda de 536 cm^{-1} foram atribuídas à ligação Ca–O também presente na estrutura da casca do mexilhão (ARAUJO, 2018). Em relação às vibrações detectadas na casca do mexilhão adsorvido com AM, foi possível afirmar que não houve mudança significativa em relação à casca do mexilhão não adsorvido, no entanto, é possível detectar menos mudanças na faixa de comprimento de onda de 1.729 a 1.585 cm^{-1}e um deslocamento da banda de vibração entre a faixa de 890 a 750 cm^{-1} que são vibrações relacionadas ao C–O, ligação de carbonatos. A partir da análise do FRX, foi possível afirmar que havia uma quantidade significativa de compostos inorgânicos presentes na estrutura da casca do mexilhão. Isto foi confirmado com a análise FRX que detectou uma grande proporção de óxidos e outros materiais inorgânicos no material. Os resultados indicaram óxidos de cálcio e sílica como sendo a maioria das substâncias na estrutura da casca do mexilhão, respectivamente, 68,6% e 12,5%. Outros compostos foram encontrados em concentrações de traços ou não eram relevantes para este pesquisar. A análise do potencial zeta da casca do mexilhão dourado é demostrado na figura 3.

Os valores referentes à carga superficial vindo do potencial Zeta para o mexilhão dourado esmagado foram: 28,3, 12,2, 8,8, -0,9, -2,89, -6,97, -14,57, -17,57, –22,8 e –26,43 (mV) em pH variando de 3 a 12, respectivamente. a característica encontrada é principalmente devido à presença de grupos carbonato presente nas conchas.

Como AM é um corante catiônico, um adsorvente eletronegativo seria mais eficaz para remover AM do aquoso solução, desta forma o pH 6,03, que é o pH natural do A solução AM foi usada nos experimentos de adsorção. Nisso pH, a casca do mexilhão dourado é eletronegativamente carregada e não é necessário controlar o pH da adsorção processar.

Figura 3: Potencial zeta da casca do mexilhão dourado para diferentes pH valores

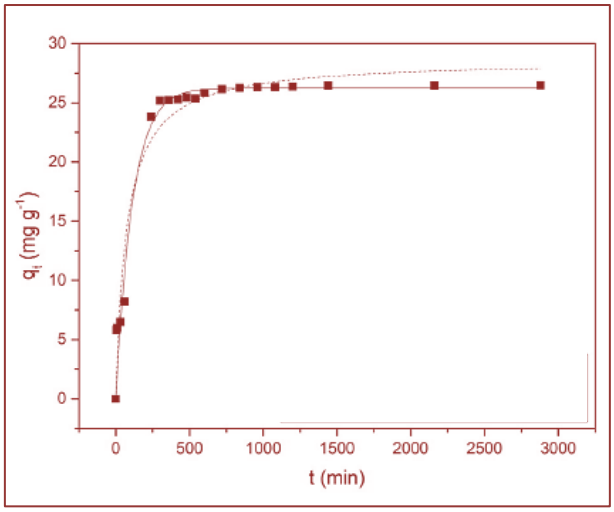


Fonte: Autor 2020

3.2. EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO

A figura 4 exibe os resultados da cinética de adsorção experimentos e os ajustes da pseudo-primeira ordem e modelos de pseudo-segunda ordem para os dados obtidos para AM adsorção. O tempo de agitação variou de 1 a 3.000 min e 50 mg L^{-1} da solução AM foi usado em pH 6,03, como previamente estabelecido. Os parâmetros do modelo cinético ajustados aos dados experimentais são mostrados na Tabela 1.

Figura 4: Dados cinéticos experimentais e ajuste da capacidade de adsorção de AM pela cocha do mexilhão dourado



Fonte: Autor 2020

Pode ser visto na figura 4 que a adsorção AM não mudar após 300 min, alcançando assim o estado de equilíbrio com concentração constante em, aproximadamente, 26,4 mg g^{-1}. De acordo com Lonappan et al. 2016, estudou a adsorção AM usando carvão ativado sintetizado a partir de três resíduos diferentes (Tronco de pinus, esterco de porco e papel). Os autores determinaram a capacidade de adsorção de AM nestes carbonos como 1,32, 4,87 e 5,01 mg g^{-1}, respectivamente, mostrando que o ouro a casca do mexilhão teve uma capacidade maior quando comparada. Vale destacar que, neste trabalho, o mexilhão dourado as conchas não sofreram modificações antes do processo de adsorção.

Tabela 1: Modelos cinéticos para adsorção de AM

Modelos	Parâmetros	MOM-Fe_3O_4
Pseudo-primeira ordem	q_e (mg g^{-1})	26,261
	k_1 (min^{-1})	0,009
	R^2	0,970
	χ^2	2,503
Pseudo-segunda ordem	q_e (mg g^{-1})	28,620
	k_2 (g mg^{-1} min^{-1})	4,721
	R^2	0,958
	χ^2	3,553

Fonte: Autor 2020

Em relação aos parâmetros dos modelos cinéticos mostrados em Tabela 1, modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem apresentou valores de R^2 maiores que 0,950. No entanto, analisando a capacidade de adsorção calculada e a estatística χ^2, verificou-se que o modelo de pseudo-primeira ordem melhor ajustou os dados experimentais. Este modelo indica que o a adsorção de AM ao longo do tempo é diretamente proporcional a diferença na concentração de saturação de AM e o locais ativados disponíveis na superfície da concha do mexilhão.

4. CONCLUSÃO

A presença de contaminantes como o AM em efluentes descarregado no meio ambiente é uma grande preocupação devido a problemas ambientais e de saúde. Nesse sentido, este artigo teve como objetivo produzir um adsorvente de baixo custo a partir de mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) concha, um espécime invasivo, para remover o AM de soluções aquosas. Dos resultados coletados de FTIR,

espectroscopia de raios-X de dispersão de energia e FRX, não foi possível afirmar que a casca do mexilhão dourado composição predominante de óxidos, característica deste ser vivo. Em relação à adsorção do processo AM, foi possível remover grandes quantidades de AM com uma massa baixa de biossorvente.

REFERÊNCIAS

[1] ARAUJO, L.A. Bezerra, C.O. Cusioli, L.F. M.F. Silva, L. Nishi, R.G. Gomes, R. Bergamasco, Moringa oleifera biomass residue for the removal of pharmaceuticals from water, J. Environ. Chem. Eng., 6 (2018) 7192–7199.

[2] AYAWEI, N. A.N. Ebelegi, D. Wankasi, Modelling and interpretation of adsorption isotherms, J. Chem., 2017 (2017) 1–11.

[3] AZZAZ, A.A. Jellali, S. Akrout, Assadi, H, Optimization of a cationic dye removal by a chemically modified agriculture by-product using response surface methodology: biomasses characterization and adsorption properties, Environ. Sci. Pollut. Res., 24 (2017) 9831–9846.

[4] CRINI, G, BADOT P.M, Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: a review of recent literature, Prog. Polym. Sci., 33 (2008) 399–447.

[5] CRINI, G, Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review, Bioresour. Technol., 97 (2006) 1061–1085.

[6] HADDAD, M. El A. Regti, M.R. Laamari, R. Slimani, R. Mamouni, S. El Antri, S. Lazar, Calcined mussel shells as a new and eco-friendly biosorbent to remove textile dyes from aqueous solutions, J. Taiwan Inst. Chem. Eng., 45 (2014) 533–540.

[7] HO, Y.S. G. McKay, Pseudo-second-order model for sorption processes, Process Biochem., 34 (1999) 451–465.

[8] HO, Y.S. Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions, Scientometrics, 59 (2004) 171–177.

[9] LONAPPAN, L. T. Rouissi, R. Kumar, S.K. Brar, A. Avalos, M. Verma, R.Y. Surampalli, J.R. Valero, Adsorption of methylene blue on biochar microparticles derived from different waste materials, Waste Manage., 49 (2016) 537–544.

[10] MA, Y.L. Z.R. Xu, T. Guo, P. You, Adsorption of methylene blue on Cu(II)-exchanged montmorillonite, J. Colloid Interface Sci., 280 (2004) 283–288.

[11] NAMASIVAYAM, C. R. Radhika, S. Suba, Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith, Waste Manage., 21 (2001) 381–387.

[12] OLIVEIRA, M.D. D.F. Calheiros, C.M. Jacobi, S.K. Hamilton, Abiotic factors controlling the establishment and abundance of the invasive golden mussel Limnoperna fortunei, Biol. Invasions, 13 (2011) 717–729.

[13] SUMALINOG, D.A.G. S.C. Capareda, M.D.G. de Luna, Evaluation of the effectiveness and mechanisms of acetaminophen and methylene blue dye adsorption on activated biochar derived from municipal solid wastes, J. Environ. Manage., 210 (2018) 255–262.

[14] YAO, G.Y. M.Z. Xu, X.H. An, Concrete deterioration caused by freshwater mussel Limnoperna fortunei fouling, Int. Biodeterior. Biodegrad., 121 (2017) 55–65.

[15] WACHHOLZ, L. R.V. Nunes, J. Broch, C. De Souza, Possibilidade do uso de Mexilhão Dourado contaminado com metais tóxicos em dietas para frangos de corte, Rev. ColoAM. Ciência Anim., 9 (2017) 227–235.

Capítulo 10

Efeitos de campos eletromagnéticos de fones de ouvido na tensão de cisalhamento do sangue: Modelagem e validação

Daniel Ribeiro Dessaune
Jornandes Dias da Silva

Resumo: Com o passar dos anos, a utilização de equipamentos geradores de ondas eletromagnéticas vem crescendo, porém, seus efeitos no corpo humano ainda não são completamente descobertos. Com essa lacuna em mente, o presente estudo se foca na investigação dos efeitos que o campo gerado por fones de ouvido pode ter na tensão de cisalhamento sanguínea, demonstrando significativas alterações quanto ao limite de escoamento. Levando-nos a necessidade de uma futura investigação mais aprofundada acerca da interação direta dessa radiação com os componentes sanguíneos.

1. INTRODUÇÃO

Uma grande variedade de doenças vasculares, como os acidentes vasculares cerebrais (AVC), apresenta uma forte relação com mudanças nas propriedades reológicas do sangue (Alkuraishy et al., 2014).

Algumas das estruturas presentes no sangue, a exemplo da hemoglobina e suas variantes, são sensíveis a interação com campos magnéticos devido as suas propriedades paramagnéticas e diamagnéticas (Akar et al., 2019). Sendo assim, estruturas externas, ou mesmo internas, que propiciem um meio com a presença de campo magnético tem o potencial de interagir com as estruturas sanguíneas e em alguns casos gerar possíveis alterações nas mesmas, ou em seu fluxo através dos vasos sanguíneos, fatos esses, que modificam as propriedades reológicas do fluido.

O presente trabalho apresentará um estudo das propriedades reológicas do sangue quando exposto a campos magnéticos que se assemelham aos de fones de ouvido e comparará com as propriedades do mesmo quando não exposta as ações de forças magnéticas. Desta forma, foram criados protótipos para simular tanto o comportamento do fluxo sanguíneo e o de um campo eletromagnético com intensidade e frequências próximas a de fones de ouvido.

2. MODELAGEM DO PROCESSO

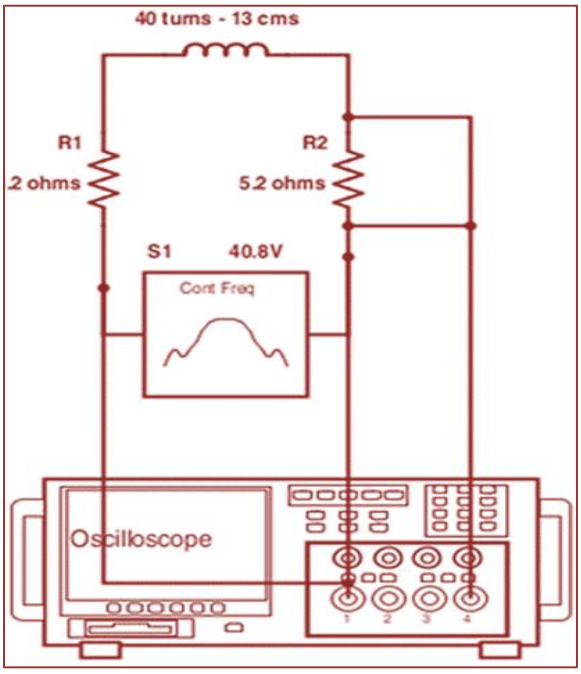
2.1. FONE DE OUVIDO

O modelo utilizado como base para este estudo foi um típico fone de ouvido da Apple, com uma distância de 2 cm do eixo central do fluxo, e construído conforme descrito por Dessaune e Silva (2019) com um campo de intensidade de 1mT (10 G).

Foi construída uma bobina que gerasse um campo com intensidade e frequência, em seu centro, próxima a descrita anteriormente.

O circuito foi criado como mostrado na Figura 1, com dois resistores de 5,2 ohms de resistência cada; uma bobina de cobre com 40 enrolamentos e 13 cm de comprimento; um gerador de função BK Precision 4010 2MHz com uma tensão elétrica de 20,4 V e frequência de 20 kHz com uma onda quadrada; e um osciloscópio Tektronix TDS 1002 1GS/s 60MHz para monitorar a onda gerada.

Figura 1 – Esquema do circuito utilizado para a geração do campo eletromagnético dos fones de ouvido



2.2. FLUXO SANGUÍNEO

O modelo seguiu o mesmo modelo confeccionado por Dessaune e Silva (2019).

Para o fluxo sanguíneo foram utilizados 15 ml de sangue de ovelha, os quais foram postos em um circuito hidráulico para circular com uma vazão de 60 ml/min com o auxílio de uma bomba MasterFlex L/S da Cole Parmer Instrument Company.

Os tubos utilizados foram os do padrão MasterFlex 17.

Dentro do circuito foram utilizados dois padrões de tempo, o de 1 hora e de 2 horas.

Figura 2 – Fluxo sanguíneo

3. MEDIÇÕES

As medições de taxa de deformação e tensão de cisalhamento foram feitas com o auxílio do viscosímetro Brookfield DV-II + Pro Viscometer, as mesmas para os intervalos de 10 até 100 RPM.

Como o fluido em questão é o sangue, o modelo matemático utilizado para o estudo foi o de Casson, como descrito por Ponalagusamy e Priyadharshini (2017), adaptado para uma equação de reta na forma:

$$|\tau_i| = \sqrt{|\tau_0|} + \sqrt{K\left(\frac{du}{dy}\right)}\,;\, i \text{ é o tempo de exposição} \qquad (1)$$

Onde τ_i é a tensão de cisalhamento, τ_0 é o limite de escoamento, K é o índice de consistência e $\frac{du}{dy}$ é a taxa de deformação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados referentes a taxa de deformação e tensão de cisalhamento foram computados nos intervalos de tempo antes mencionados, para as amostras expostas a radiação eletromagnética e as amostras não expostas. O intervalo para a taxa de deformação utilizado foi de 75 s^{-1} até 750 s^{-1}.

Comparando-se as equações obtidas para a tensão de cisalhamento, é possível notar um aumento próximo a 96% no limite de escoamento do sangue e uma alteração inferior a 5% no índice de consistência. Esses valores apontam para um aumento na resistência ao escoamento.

Figura 1 – Comparação da tensão de cisalhamento do sangue 0 horas e 2 horas.

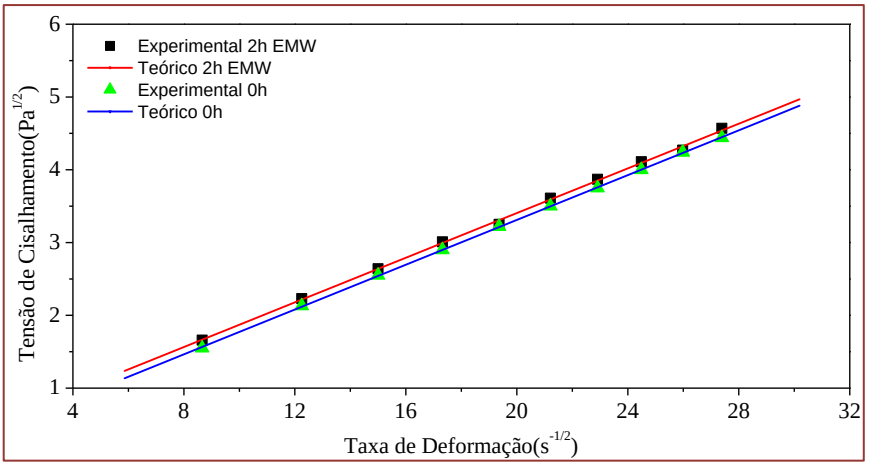


Figura 2 – Comparação da tensão de cisalhamento do sangue 0 horas e 1 hora.

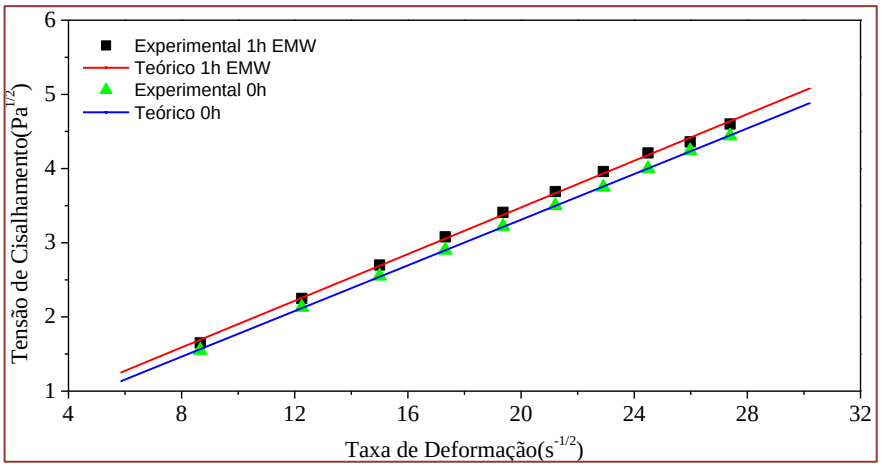


Tabela 1 – Resultados da regressão nas condições de 2 horas, 1 hora e 0 hora

2 Horas de Exposição	1 Horas de Exposição	0 Hora de Exposição
$\sqrt{\lvert\tau_{2h}\rvert} = 0{,}3368 + 0{,}15343 \cdot \sqrt{\left(\frac{du}{dy}\right)}$	$\sqrt{\lvert\tau_{1h}\rvert} = 0{,}33052 + 0{,}15759 \cdot \sqrt{\left(\frac{du}{dy}\right)}$	$\sqrt{\lvert\tau_{0h}\rvert} = 0{,}23363 + 0{,}1539 \cdot \sqrt{\left(\frac{du}{dy}\right)}$
$R^2 = 0{,}99995$	$R^2 = 0{,}99995$	$R^2 = 0{,}99995$
$X^2 < 1 \times 10^{-4}$	$X^2 < 1 \times 10^{-4}$	$X^2 < 1 \times 10^{-4}$

5. CONCLUSÃO

O estudo fornece algumas evidências dos efeitos da radiação eletromagnética em propriedades reológicas do sangue. Nas amostras estudadas nesse trabalho, as alterações foram consideráveis, com relação ao aumento na resistência ao escoamento do fluido, modificação essa, que se tornou permanente nas amostras medidas.

Os dados obtidos encorajam a realização de estudos mais profundos, com o intuito de obter mais informações dos efeitos dessa radiação nas estruturas que compõem o fluido sanguíneo, tendo em vista que tais alterações reológicas se mostram diretamente relacionadas a doenças vasculares.

6. NOMENCLATURA

EMW	Ondas eletromagnéticas (Electromagnetic Waves)
τ	Tensão de cisalhamento
τ_0	Limite de Escoamento
K	Índice de consistência
∂u	Diferencial da velocidade longitudinal
∂y	Diferencial da distância transversal
$\frac{\partial u}{\partial y}$	Taxa de deformação
τ_{ah}	Tensão de cisalhamento com a horas de exposição à radiação
R^2	Coeficiente de determinação
X^2	Qui-quadrado

REFERÊNCIAS

[1] Akar S., Esfahania J. A., Shaegh. S. A. M., "A numerical investigation of magnetic field effect on blood flow as biomagnetic fluid in a bend vessel". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2019.

[2] Alkuraishy, H., Al-Gareeb, A., & Albuhadilly, A., "Vinpocetine and Pyritinol: A New Model for Blood Rheological Modulation in Cerebrovascular Disorders—A Randomized Controlled Clinical Study". Hindawi Publishing Corporation, 2014.

[3] Dessaune, D. R., Silva, J. D., "EFEITOS DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE FONES DE OUVIDO NA VISCOSIDADE DO SANGUE: MODELAGEM E VALIDAÇÃO". XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS ENEMP, 2019.

[4] Padma R., Ponalagusamy R., Selvi R.T., "Mathematical modeling of electro hydrodynamic non-Newtonian fluid flow through tapered arterial stenosis with periodic body acceleration and applied magnetic field". Applied Mathematics and Computation, 2019.

Capítulo 11

Síntese de nanocompósitos de poliestireno e pseudoboemita tratada com octadecilamina pelo processo de polimerização em suspensão in-situ: Efeito do tipo de agitador

Douglas de Lima
Amanda Ferreira Grave
Patrícia de Andrade Martins
Leila Figueiredo de Miranda
Antônio Hortêncio Munhoz Junior
Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa
Míriam Tvrzská de Gouvêa

Resumo: Neste trabalho, sintetizaram-se nanocompósitos de poli(estireno)-pseudoboemita tratada com octadecilamina no mini-reator automatizado de 100ml pelo processo de polimerização em suspensão in situ, variando-se o tipo de agitador. Os nanocompósitos sintetizados foram caracterizados por meio de análise térmica diferencial, análise termogravimétrica e microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva. A caracterização evidenciou a formação de nanocompósitos com uma discreta melhoria em propriedades térmicas. O emprego do agitador tipo turbina Rushton mostrou-se mais favorável para a incorporação do agente de carga.

Palavras-chave: poli(estireno); pseudoboemita; nanocompósito; polimerização em suspensão in situ; efeito do tipo de agitador.

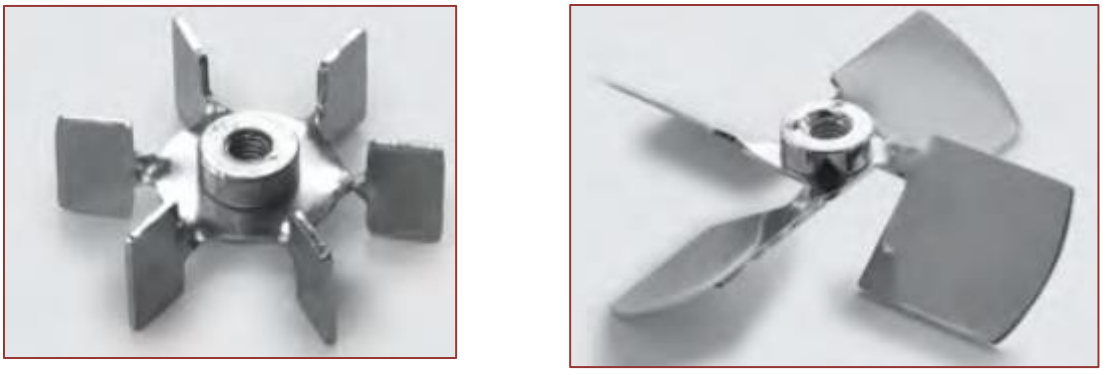
1. INTRODUÇÃO

Uma variedade de materiais inorgânicos, naturais ou sintéticos, tem sido usada com êxito como cargas de reforço para melhorar a rigidez e a resistência mecânica, térmica e/ou química de polímeros, formando os compósitos poliméricos. Nestes materiais, os agentes de carga correspondem tipicamente entre 20 a 30% em massa do material. Este teor elevado pode trazer desvantagens nas propriedades finais do material, como o aumento da densidade, um decréscimo na tenacidade do produto e uma maior dificuldade na processabilidade do material e na dispersão do reforço inorgânico na matriz polimérica (Mathews & Rawlins 1994). Já, os nanocompósitos poliméricos, com teor de reforço da ordem de 2 a 10%, podem apresentar significantes melhorias nas propriedades, em relação às propriedades dos polímeros virgens, apresentando propriedades comparáveis aos compósitos tradicionais (Alexandre & Dubois, 2000). Contudo, a melhoria das propriedades conferidas pelo agente de carga depende de muitos fatores incluindo características geométricas e estruturais, grau de dispersão, adesão e orientação na matriz polimérica (Yang et al., 1998). É, ainda, um desafio, obter-se um nanocompósito com distribuição uniforme do agente de carga (Munhoz-Junior et al., 2018) pela técnica de mistura em estado fundido. Embora a técnica da polimerização *in situ* tem sido considerada como mais apropriada para se obter uma distribuição uniforme, pode haver dificuldades na estabilização de um sistema heterogêneo durante a etapa da polimerização (Arioli, 2009). Neste trabalho, apresenta-se uma rota de síntese que possibilitou a obtenção de nanocompósitos de poli(estireno) com pseudoboemita.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pseudoboemita usada neste trabalho foi sintetizada através do método sol-gel empregando-se uma solução de cloreto de alumínio como agente precursor seguindo o procedimento de Munhoz Junior et al. (2019). Uma solução de 32g de álcool polivnílico (PVAL) em 368 g água foi adicionada a uma solução de 60,37 g de $AlCl_3.6H_2O$ dissolvida em 61,60 mL de água. A solução homogênea resultante foi gotejada, lentamente, em uma solução de hidróxido de amônio (NH_4OH) em água (28% em massa), mantendo-se o pH controlado entre 9 e 11. O produto precipitado foi lavado, neutralizado, filtrado, congelado e liofilizado para então ser tratado com uma solução de octadecilamina, preparada misturando-se octadecilamina com uma solução de água e etanol (50%v) e uma solução de ácido clorídrico (10%v) de modo que o pH fosse 3. O nanocompósito poliestireno com pseudoboemita tratada com octadecilamina foi obtido através do processo de polimerização em suspensão *in situ* em atmosfera inerte de N_2 no reator automatizado de 100 ml EASYMAX da Mettler-Toledo, empregando-se uma solução de álcool polivinílico (PVA) como agente estabilizante, peróxido de benzoíla (BPO) como iniciador, água deionizada como meio dispersante, estireno como monômero e a pseudoboemita tratada com octadecilamina como agente de carga. A solução de PVA foi preparada misturando-se 0,5 g de PVA em 163,96 g de água. A reação de polimerização foi realizada à temperatura constante de 90°C com velocidade de rotação de 600 rpm. Empregaram-se um agitador turbina Rushton de 6 pás e um agitador de 4 pás inclinadas para baixo, os quais podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1: Tipos de agitadores empregados: (a) agitador Rushton de 6 pás (b) agitador de 4 pás inclinadas para baixo



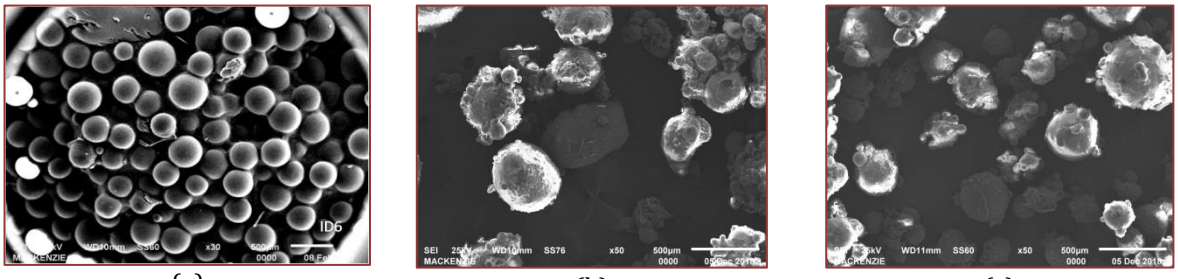
(a) (b)

Na literatura, sugere-se que a polimerização em suspensão *in situ* seja executada, dispersando-se o agente de carga no monômero à temperatura ambiente e agitando-se o meio por um período suficientemente longo de tempo. Em seguida, esta mistura deve ser adicionada à solução com o agente estabilizante (Arioli, 2009). Este procedimento não pôde ser empregado, uma vez que interrompida a agitação do monômero com a pseudoboemita, a última se precipitou quase que instantaneamente, ou seja, há baixa compatibilidade entre carga e monômero, o que também foi evidenciado pelo teste de inchamento de Foster. Assim, estabeleceu-se um procedimento alternativo que consistiu no carregamento do reator com 65,7 g de solução de PVA, 25,53 g de estireno, 0,97 g de pseudoboemita e, em seguida, iniciou-se uma agitação vigorosa (900 rpm) até que uma dispersão homogênea fosse obtida. Manteve-se esta mistura bem dispersa agitada em atmosfera inerte de N_2 à temperatura ambiente por 20 min e, em seguida, baixou-se a rotação para 600 rpm e procedeu-se com o aquecimento até 90ºC, quando se adicionou uma solução de 1,22g de BPO em 7g de estireno. Procedeu-se com a reação por 3 horas. Ao final deste tempo, o meio reacional foi resfriado e o reator descarregado. O produto foi lavado com água deionizada, filtrado a vácuo, congelado e liofilizado. Operaram-se os dois reatores do sistema em paralelo, executando-se o mesmo procedimento, sendo um reator operado com o agitador de turbina Rushton e o outro com o agitador de pás inclinadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, mostram-se micrografias de partículas do nanocompósito sintetizado e também do poliestireno virgem sintetizado nas mesmas condições de síntese do nanocompósito. Na Figura 2a, veem-se partículas esféricas, de tamanhos similares e lisas. Nas Figuras 2b e 2c, percebe-se uma nítida alteração no padrão visual. Observa-se que a introdução da pseudoboemita provocou uma desestabilização no meio reacional, levando a uma ampla distribuição do tamanho de partículas e aglomeração de partículas. As superfícies das partículas tornaram-se menos lisas e algumas partículas tiveram a sua geometria afetada, o que é indicativo da incorporação do agente de carga ao polímero. A alteração na geometria esférica é bem mais acentuada quando do emprego do agitador de turbina Rushton.

Figura 2 – micrografias MEV: (a) polímero virgem com ampliação de 30x (b) nanocompósito com ampliação de 50x obtido com o emprego do agitador Rushton (c) nanocompósito com ampliação de 50x obtido com o emprego do agitador de pás inclinadas



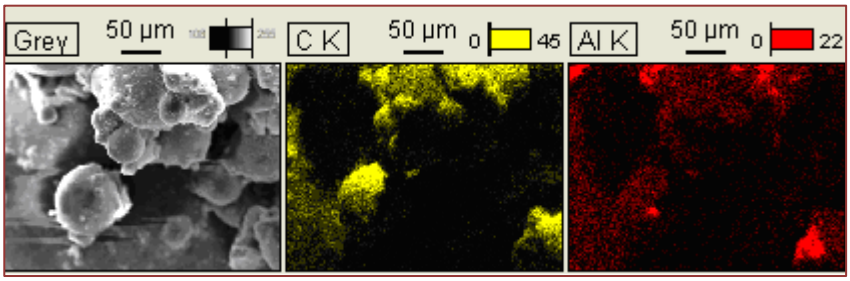
(a) (b) (c)

O acoplamento do sistema de EDS (espectroscopia de energia dispersiva) ao MEV (microscopia eletrônica de varredura) possibilita analisar a composição qualitativa das amostras com base na emissão de raios X característicos e a verificação se um elemento está homogeneamente disperso em um meio. Os teores percentuais mássicos de carbono e alumínio obtidos foram respectivamente de 94,6% e 1,9% para o agitador turbina Rushton e 96,3 e 0,3% para o de pás inclinadas. Considerando que 1,9% de alumínio equivale a aproximadamente 4% de pseudoboemita e que a análise de EDS é semi-quantitativa os valores são razoáveis quando do emprego do agitador turbina Rushton, considerando que a porcentagem da carga deveria ser 3% em massa. Percebe-se, outrossim, que a incorporação da pseudoboemita foi menos acentuada com o emprego do agitador de pás inclinadas, o que justifica a mais acentuada diferença do padrão morfológico observado na Figura 2b em relação à Figura 2c.

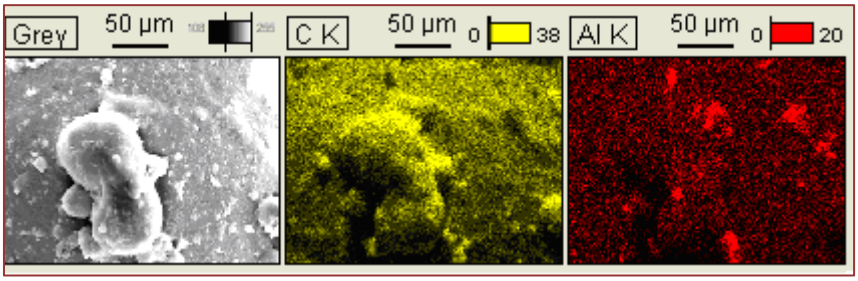
A Figura 3 apresenta a distribuição dos elementos na amostra. Em cinza, nesta figura, observa-se a micrografia MEV. Comparando-se a morfologia das imagens coloridas com a cinza, percebe-se a presença dos elementos carbono e alumínio aonde existe amostra, o que é mais um indicativo da presença da pseudoboemita no nanocomposto sintetizado. Percebe-se também um recobrimento uniforme do

elemento alumínio ao longo das partículas poliméricas. Tal fato evidencia que se formaram nanocompósitos homogêneos em que a distribuição do alumínio nos mesmos é homogênea.

Figura 3 – Dispersão de elementos sobre a amostra analisada por MEV-EDS (a) nanocompósito obtido com o emprego do agitador Rushton (b) nanocompósito obtido com o emprego do agitador de pás inclinadas



(a)



(b)

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas TG, DTG e DTA para os nanocompósitos sintetizados. O pico endotérmico atribuído à temperatura de fusão do nanocompósito obtido com o agitador Rushton é observado na DTA em torno de 220ºC e para o obtido com o agitador de pás inclinadas é um pouco superior a 210ºC. Para o polímero puro o pico endotérmico de fusão foi observado a aproximadamente 210ºC. Percebe-se que os picos de degradação para os nanocompósitos ocorre a 410,2ºC e 410,0ºC. Para o polímero puro sintetizado nas mesmas condições operacionais, obteve-se um pico de 407ºC. Ou seja, a melhoria na propriedade de degradação foi singela, da ordem de 3ºC, possivelmente associada a uma pequena presença do agente de carga na matriz polimérica (da ordem de 2% de alumínio para o nanocompósito obtido com o agitador turbina Rushton) conforme os dados de EDS. Finalmente, a curva de DTA evidencia alguma cristalinidade no nanocompósito, correspondente à não transparência do produto obtido.

Figura 4 - Resultados da Análise Térmica TG, DTG e DTA para o nanocompósito obtido com o agitador turbina Rushton

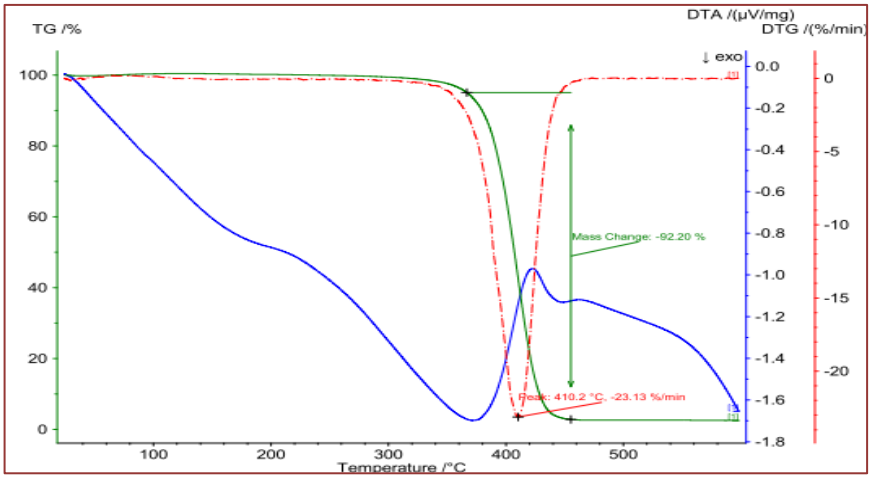
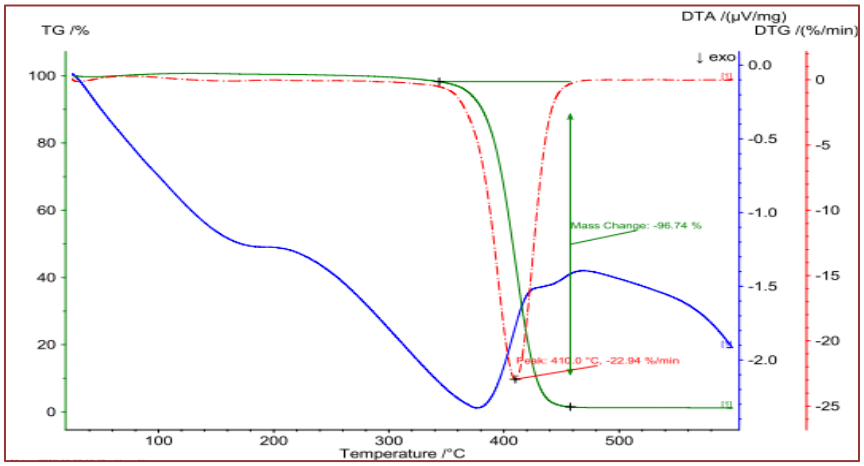


Figura 5 - Resultados da Análise Térmica TG, DTG e DTA para o nanocompósito obtido com o agitador de pás inclinadas



4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, sintetizaram-se nanocompósitos de poli(estireno) e pseudoboemita tratada com octdecilamina pela polimerização em suspensão *in situ*. Os resultados de micrografias MEV, das análises de espectroscopia de energia dispersiva e das análises térmicas dos compostos sintetizados comparados aos obtidos para os polímeros puros permitiram concluir que se incorporou a pseudoboemita homogeneamente à estrutura da matriz polimérica. A introdução da nanocarga trouxe uma discreta melhoria nas propriedades térmicas (aumento no ponto de fusão e de degradação térmica). O aumento do ponto de fusão foi muito discreto quando do emprego do agitador de pás inclinadas. Percebe-se uma influência do tipo de agitador empregado, sendo a incorporação do agente de carga mais facilitada quando do uso do agitador turbina Rushton.

AGRADECIMENTO

Agradecemos o suporte financeiro fornecido pelo MACKPESQUISA (processo 1621) e pela UNIGEL.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDRE, M., DUBOIS, P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials, *Mat. Sci. and Engng*, v. 28, p. 1-63, 2000.

[2] ARIOLI, R. Estudo de processos de síntese de nanocompósitos de argila/poliestireno via polimerização in situ. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

[3] MATTHEWS, F. L,; RAWLINGS, R. D. Composites Materials: engineering and science. London, Chapman & Hall, 1994

[4] MUNHOZ JÚNIOR, A. H., PACHECO, C. V., MELO, H. T. S., PERES, R. M.; ANDRADE E SILVA, L. G., MIRANDA, L. F., ROMERO FILHO, M. Characterization of a composite of high impact polystyrene, pseudoboehmite and graphene oxide. In: Characterization of minerals, metals and materials. Springer Verlag, 2019

[5] YANG, F,; OU, Y., YU, Z. J. Polyamide 6/silica nanocomposites prepared by in situ polymerization J. Appl. Pol. Sci. v.69, p.355-362, 1998.

Capítulo 12

Avaliação de modelos reológicos do caldo oriundo da fermentação via Streptomyces tsukubaensis para a obtenção de tacrolimo

Alessandra Suzin Bertan
Jenniffer Solange Ayala Rivera
Guilherme José de Castilho
Marco Aurélio Cremasco

Resumo: O tacrolimo é um fármaco com amplo espectro de aplicações, sendo obtido via fermentação. A sua separação do caldo fermentado, bem como as etapas subsequentes visando à purificação do fármaco, são afetadas pelas características reológicas da solução que contém o tacrolimo. Este trabalho apresenta a avaliação de diversos modelos reológicos do caldo fermentado via Streptomyces tsukubaensis, no qual se adicionou acetona para interromper o processo fermentativo. A solução obtida foi submetida a ensaios reológicos em diferentes temperaturas, cujos resultados apontam para a sua característica não newtoniana, em que a descrição reológica mais apropriada segue os modelos de Casson e de Mizrahi-Berk.

1. INTRODUÇÃO

O tacrolimo é um fármaco imunossupressor recomendado para a terapia do tratamento de transplantes renal, hepático e de pâncreas, bem como para o tratamento de doenças oculares e autoimunes, como também no tratamento de asma brônquica e em desordens dermatológicas (Moreira, 2018; Silva *et al*., 2019). Esse fármaco é obtido via fermentação por várias espécies do gênero *Streptomyces*. O caldo fermentado gerado deve ser submetido a processo de separação de micelas, para dar prosseguimento às etapas de separação e de purificação do tacrolimo (Ferrari, 2018). Durante tal processamento é necessário conhecer o comportamento reológico do fluido, o qual pode ser observado segundo o modelo generalizado de Heschel-Bulkley como:

$$\tau^n = \tau_0^n + k\gamma^m \qquad (1)$$

sendo τ a tensão de cisalhamento; τ_0, tensão de cisalhamento inicial; γ, taxa de deformação do fluido; k, parâmetro associado à consistência do fluido; m, índice de comportamento do fluido; n, coeficiente associado ao efeito residual de cisalhamento. Para a situação em que n = m= 1 e τ_0 = 0 o fluido é classificado como newtoniano; caso contrário, é dito não newtoniano, existindo vários modelos para descrever o seu comportamento reológico, como os apontados na Tabela 1. Isto posto, este trabalho objetiva avaliar a descrição reológica, por meio das equações apresentadas na Tabela 1, do caldo fermentado e diluído resultante da fermentação via *Streptomyces tsukubaensis.*

Tabela 1 – Modelos reológicos não newtonianos (baseado em Steffe, 1996)

Modelo	n	m	Equação	
Ostwald-De-Waele	-	m	$\tau = k\gamma^m$	(2)
Bingham	1	1	$\tau = \tau_0 + k\gamma$	(3)
Heschel-Bulkley	1	m	$\tau = \tau_0 + k\gamma^m$	(4)
Casson	0,5	0,5	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	(5)
Mizrahi-Berk	0,5	m	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^m$	(6)
Vocadlo	1/n	1	$\tau^{1/n} = \tau_0^{1/n} + k\gamma$	(7)

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Engenharia de Processos, da Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). O meio utilizado para a fermentação, via *Streptomyces tsukubaensis,* constituiu-se de peptona de soja, licor de milho, sais de fosfato, sulfato e carbonato, extratos de malte e levedura, glicose e maltose. Adicionou-se, no final da fermentação, igual volume de acetona que o de caldo bruto para interromper o processo fermentativo. Esse caldo diluído é o objeto de estudo deste trabalho, sendo os ensaios reológicos realizados no Laboratório de Engenharia de Processos da Faculdade de Engenharia de Alimentos/Unicamp. Empregou-se, para tanto, o viscosímetro de cilindros concêntricos AR1500ex da TA Instruments. Definiu-se a faixa da taxa de deformação de 0 a 150 $1/s^1$, tendo como referência o trabalho de Gabas *et al*. (2012), que avaliaram o comportamento reológico de dez soluções compostas por sacarose, etanol, células de levedura e água.

2.2. RESULTADOS

Amostras de caldo diluído foram submetidas a ensaios reológicos em seis temperaturas: T=20 ºC, T = 25 ºC, T = 30 ºC, T = 35 ºC, T = 40 ºC e T = 50 ºC. As curvas reológicas estão apresentadas na Figura 1, a partir da qual se constata comportamento não newtonianos nas temperaturas estudadas. Em estudo detalhado dessas curvas, verificou-se que o seu ajuste, para o modelo de fluido newtoniano, apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação, R^2=0,951 para T = 20 ºC, decrescendo até T = 50 ºC em que R^2 = 0,567, corroborando a natureza não newtoniana do fluido, principalmente para temperaturas superiores a 30 ºC. O modelo de Ostwald-De-Waele apresentou desempenho semelhante quanto à influência da temperatura: R^2=0,981 para T = 20 ºC e R^2 = 0,929 em T = 50 ºC. Os demais modelos apresentaram R^2 > 0,992 para todas as temperaturas analisadas. Foi possível obter, para cada temperatura e modelo presente na Tabela 1, os valores dos parâmetros reológicos (PR = τ_0, K, n e m), acarretando na proposição, para cada PR, uma correlação em função da temperatura (T, em Kelvin) na forma :

$$PR = \sum_{i=0}^{i=2} a_i T^i \qquad (8)$$

cujos resultados estão apresentados na Tabelas 2 a 4.

Figura 1 – Curvas reológicas do caldo fermentado diluído

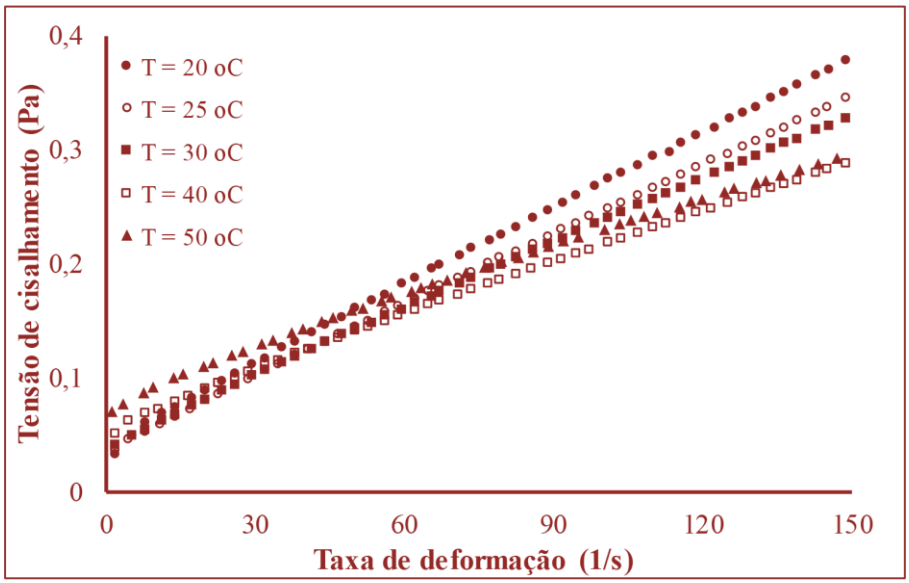


Tabela 2 – Coeficientes da Equação 8 para PR = τ_0 (Pa)

Modelo	a_0	a_1	a_2	R^2
Bingham	5,4923	$-3,6711 \times 10^{-2}$	$6,1802 \times 10^{-5}$	0,9884
Heschel-Bulkley	5,9118	$-3,9118 \times 10^{-2}$	$6,5295 \times 10^{-5}$	0,9785
Casson	4,0717	$-2,7447 \times 10^{-2}$	$4,6402 \times 10^{-5}$	0,9882
Mizrahi-Berk	4,5347	$-3,0496 \times 10^{-2}$	$5,1535 \times 10^{-5}$	0,9976
Vocadlo	2,1019	$-1,3032 \times 10^{-2}$	$2,0287 \times 10^{-5}$	0,9513

Tabela 3 – Coeficientes da Equação 8 para PR = K (Pa.s^m)

Modelo	a_0	a_1	a_2	R^2
Ostwald-De-Waele	4,6257	$-3,0816 \times 10^{-2}$	$5,1462 \times 10^{-5}$	0,9954
Bingham	$0,6629 \times 10^{-1}$	$-3,3935 \times 10^{-4}$	$5,9354 \times 10^{-7}$	0,9889
Heschel-Bulkley	$6,4218 \times 10^{-1}$	$-4,2023 \times 10^{-4}$	$7,1890 \times 10^{-7}$	0,8819
Casson	$2,4897 \times 10^{-1}$	$-9,0573 \times 10^{-4}$	$6,6639 \times 10^{-7}$	0,9903
Mizrahi-Berk	$2,4373 \times 10^{-1}$	$-11,0370 \times 10^{-4}$	$12,0930 \times 10^{-7}$	0,9962
Vocadlo	$0,6705 \times 10^{-1}$	$-3,8817 \times 10^{-4}$	$5,6938 \times 10^{-7}$	0,9949

Tabela 4 – Coeficientes da Equação 8 para PR = n ou m (-)

Modelo	a_0	a_1	a_2	R^2
Ostwald-De-Waele	3,3710	$-0,9257 \times 10^{-3}$	0	0,9711
Heschel-Bulkley	2,2245	$-4,3121 \times 10^{-3}$	0	0,9985
Mizrahi-Berk	0,3415	$-0,8482 \times 10^{-3}$	0	0,9779
Vocadlo	2,9534	$-6,8241 \times 10^{-3}$	0	0,9906

O desempenho dos modelos reológicos é avaliado mediante o desvio médio relativo absoluto (DMRA), considerando-se todos os valores experimentais apresentados na Figura 1, segundo:

$$DMRA(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=250} \left| \frac{\tau_{exp_i} - \tau_{mod\,elo_i}}{\tau_{exp_i}} \right| \times 100\% \qquad (9)$$

com N = 250 e os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Desvio médio relativo absoluto dos modelos reológicos analisados (%)

Ostawald	Bingham	Heschel-Bulkley	Casson	Mizrahi-Berk	Vocadlo
0,1279	5,8869	0,1350	0,0247	0,0166	0,1522

3. CONCLUSÃO

A solução líquida analisada no presente trabalho apresenta alta complexidade quanto à sua composição, pois contém, além da composição original do meio fermentativo e do fármaco, biomassa bacteriana bem como materiais orgânicos feito proteínas e açúcares redutores (Silva *et al.*, 2019). Ainda que tal meio venha a ser diluído em 50 % de seu volume total por solvente newtoniano (acetona), o seu comportamento reológico sofre continua alteração com o incremento de temperatura, como pode ser observado com o decréscimo do valor do índice de comportamento do fluido, m (Tabela 4), configurando a natureza pseudoplástica da solução. Além disso, verifica-se influência da tensão cisalhante residual, tanto pela tensão inicial (τ_0) quanto pelo índice a ela associado (n), indicando a interação das micelas entre si na solução líquida, caracterizando a natureza viscoplástica da solução. Tais resultados estão espelhados no bom desempenho da equação de Mizhari e Berk, Equação 6, principalmente para baixos valores de taxa de deformação. Entretanto, a equação de Casson, Equação 5, apresenta-se como alternativa para a descrição do modelo reológico da solução avaliada neste trabalho, pois que não precisa de ajustes para a obtenção do parâmetro m.

REFERÊNCIAS

[1] FERRARI WMCDS, Recuperação e purificação de tacrolimo proveniente de *Streptomyces tsukubaensis*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 2018.

[2] GABAS AL, MENEZES RS, TELIS-ROMERO J, Reologia na indústria de biocombustíveis. Lavras: INDI, 2012.

[3] MOREIRA JV, Produção de tacrolimo via fermentação por Streptomyces tsukubaensis. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Tese (Doutorado), 2018.

[4] SILVA SCM, FERRARI WM, MOREIRA JV, FRANCO TT, CREMASCO MA, Streptomyces tsukubaensis fermentation using Brazil nut oil to enhance tacrolimus production. Applied Biotechnology Reports, v. 6, p. 109 – 112, 2019.

[5] STEFFE JF, Rheological method in food process engineering, 2nd Ed., East Lansing: Freeman Press, 1996.

Capítulo 13

Influência das soluções de glicerol, DMSO e metanol na criopreservação de Chlorella vulgaris

Gislaine Brito Santos
Keilla Santos Cerqueira
Diego de Freitas Coêlho
Jacqueline Rêgo da Silva Rodrigues
Roberto Rodrigues de Souza

Resumo: As microalgas sintetizam diversas substâncias de alto valor agregado e são utilizadas por diversos setores industriais, o que tem gerado uma expansão recente na indústria de microalgas. Os protocolos de armazenamento de microalgas tradicionais são baseados em subcultivos, que são processos laboriosos que demandam tempo e mão de obra especializada e oferecem alto risco de contaminação. Diante disso, surge a necessidade de desenvolvimento de métodos seguros e econômicos de preservação, capazes de manter a viabilidade e especificidade do microrganismo. Neste trabalho, foi avaliado o uso da vinhaça, um resíduo de baixo custo, como meio nutriente para o crescimento de Chlorella vulgaris. Também foi avaliado um método de criopreservação a taxa de resfriamento não controlada de C. vulgaris, utilizando glicerol, DMSO e metanol como agentes crioprotetores. Dentre os agentes crioprotetores, apenas o glicerol não atuou de forma eficaz na crioproteção da cepa. O metanol proporcionou maior viabilidade pós-congelamento que o DMSO, alcançando uma concentração celular de 22,71 g/L após 3 semanas de armazenamento criogênico. O método conservou a C. vulgaris de forma eficaz e acredita-se que possa ser aplicado a outras cepas. A adição de 2% de vinhaça ao meio de cultivo otimizou o crescimento celular e produção de biomassa, além de agregar economia ao processo.

1. INTRODUÇÃO

As microalgas apresentam várias aplicações industriais devido a diversidade de substâncias de elevado valor comercial sintetizadas por estas, podendo ser utilizadas nos setores alimentício, ambiental, cosmético, farmacêutico e de biocombustíveis. Estes microrganismos se destacam com relação a outras biomassas de origem terrestre devido as condições atrativas de produção tais como baixos custos associados a colheita e transporte das mesmas, alta taxa de produção e dispensabilidade do uso de água doce, fertilizantes e até mesmo terras agrícolas para o seu crescimento (Jain *et al.*, 2017).

Espécies de microalgas verdes como Chlorella receberam o certificado GRAS (*Generally recognized as safe*) pelo FDA (*Food Drug Administration*) dos EUA, por se tratar de uma rica fonte de vitaminas, lipídios e outros compostos bioativos, seguros para o consumo humano (Fu *et al.*, 2016). A espécie *Chlorella vulgaris* é pertencente a classe Chlorophyceae, a ordem Chlorococcales e a família Oocystaceae, as células apresentam forma esférica e sem flagelos. Por se adaptarem e crescerem em várias condições ambientais, essa espécie é produzida em larga escala e utilizada em vários setores industriais.

Tradicionalmente, a manutenção das culturas é feita através de repiques periódicos, nos quais é feita a transferência de uma alíquota das microalgas de um meio para um novo meio de cultivo. A subcultura é mantida em meio sólido ou líquido, sob baixas condições de temperatura e iluminação para minimiza a atividade biológica e o crescimento (Morschett *et al.*, 2016). Esse processo é trabalhoso e apresenta algumas desvantagens como alta demanda de tempo, mão de obra especializada, riscos de contaminação e alteração genética, dificultando a manutenção de coleções de microalgas por longos períodos (Bui *et al.*, 2013). Diante disso, a criopreservação se apresenta como um método alternativo, trata-se um método de conservação de culturas microbianas a longo prazo, o qual mantém a viabilidade e a funcionalidade das culturas-estoque armazenadas. Este método dispensa a necessidade de rotinas de manutenção, reduzindo gastos referentes a meio de cultivo, energia e mão de obra, além de uso otimizado de espaço e evitar possíveis erros humanos e riscos de contaminação (Leiva e Dupre, 2011).

A primeira etapa da criopreservação consiste no contato entre a suspensão de microalgas e a solução crioprotetora. Para evitar a degradação das células durante as etapas de congelamento e descongelamento, são utilizados agentes crioprotetores. O glicerol, o metanol e o dimetilsulfóxido (DMSO) são os agentes crioprotetores penetrantes mais utilizados na conservação de algas e diversos estudos relatam a eficiência destes crioprotetores em diferentes métodos de criopreservação da *C. vulgaris*. A segunda etapa consiste no congelamento da solução. Para o armazenamento criogênico pode ser utilizado desde um freezer doméstico (-15 °C) a taxas de resfriamento lentas até o armazenamento com nitrogênio líquido (-196 °C) a altas taxas de resfriamento (Kapoore *et al.*, 2019). O congelamento pode ser realizado a taxa controlada ou não controlada. Em geral, maior viabilidade celular é relatada para congelamento de células microalgais a taxa controlada. O descongelamento da solução criopreservada é a última etapa do processo.

Vários protocolos de criopreservação são avaliados e revisados constantemente. Características como tipo de cepa, crescimento e taxa de fase, tipo e concentração de agente crioprotetor, taxa de congelamento e descongelamento, temperatura e tempo de armazenamento, são fatores que influenciam a criopreservação e por isso devem ser investigados para manter a viabilidade da microalga pós-congelamento em condições operacionais mais econômicas.

Há no mercado muitas empresas que comercializam microalgas para a produção de produtos distintos. É notado uma resistência pelo uso da criopreservação para manutenção de microalgas, pela necessidade de equipamentos sofisticados para manter a taxa de resfriamento controlada, conforme sugerido por alguns protocolos. A otimização da sua produção bem como a redução do custo total do processo é de grande interesse acadêmico e comercial. Diante disso, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade do armazenamento criogênico da microalga *C. vulgaris* em um freezer doméstico, utilizando glicerol, DMSO e metanol como agentes crioprotetores. Com o intuito de reduzir o custo comercial da *C. vulgaris*, também foi avaliado o uso de vinhaça, um efluente industrial, como meio nutriente. Uma das maneiras para baixar o custo de cultivos comerciais de microalgas é o uso de efluentes residuais como base para o meio de cultivo.

2. METODOLOGIA

2.1. CULTIVO MICROALGAL

A microalga *Chlorella vulgaris* foi cultivada em meio BG11 à 25°C e intensidade luminosa de 100 µE.m-2.s-1, por 15 dias. O meio BG11, no qual as células foram cultivadas, foi preparado a partir de soluções estoque resultando na seguinte composição inicial (Rippka *et al.*, 1979): $NaNO_3$ - 1500 mg·L^{-1}, K_2HPO_4 - 40 mg·L^{-1}, $CaCl_2{\cdot}2{\cdot}H_2O$ - 30 mg·L^{-1}, Na_2CO_3 - 19 mg·L^{-1}, $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ - 8 mg·L^{-1}, $C_6H_8O_7$ – 7 mg·L^{-1}, Citrato de Ferro e Amônio - 6 mg·L^{-1}, H_3BO_3 - 3 mg·L^{-1}, $MnCl_2{\cdot}4H_2O$ - 2 mg·L^{-1}, $Na_2EDTA{\cdot}2H_2O$ - 0,7 mg·L^{-1}, Na_2MoO_4 - 0,4 mg·L^{-1}, $ZnSO_4{\cdot}7H_2O$ - 0,2 mg·L^{-1}, $CuSO_2{\cdot}2H_2O$ - 0,1 mg·L^{-1} e $Co(NO_3)2{\cdot}2H_2O$. Em alguns ensaios, o cultivo foi realizado com uma mistura de meio BG11 com 2 % de vinhaça, como meio nutriente.

Os biorreatores contendo 300 mL de meio BG11, as mangueiras e os conectores foram autoclavados a 121°C por 15 minutos, afim de evitar contaminação durante o cultivo das microalgas. Para o cultivo, inicialmente, foram inoculados nos biorreatores 50 mL de microalga colhidos da matriz microalgal. Por fim, as mangueiras foram conectadas no distribuidor de ar e a válvula foi aberta para permitir o fluxo de ar através do meio de cultivo. Observou se as vazões de ar e a luminosidade estavam proporcionais em todos os reatores, de modo a estabelecer as condições favoráveis de crescimento para as microalgas. Ao fim da fase exponencial de crescimento, referente a 06 dias após a inoculação, foi feita a colheita de células de *C. vulgaris* para o preparo das soluções criopreservantes.

2.2. CINÉTICA DE CRESCIMENTO

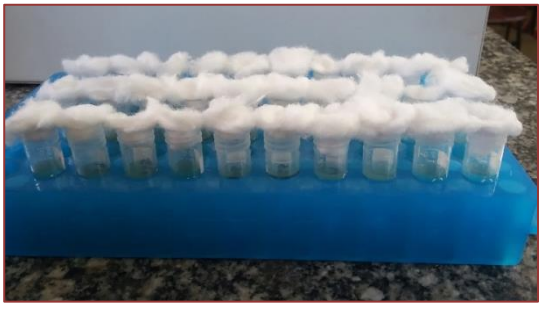
A densidade ótica do meio reacional fornece uma medida precisa e quantitativamente significante da concentração de biomassa no mesmo. Através da relação entre a medida da absorbância e a biomassa úmida da alga, foi construída a curva de calibração que estabeleceu a relação entre as variáveis. Alíquotas de suspensão celular da cultura de *C. vulgaris* foram colhidas periodicamente. As amostras foram submetidas a leitura a 750 nm em espectofotômetro UV-vis. As suspensões celulares foram diluídas para ajustar a faixa linear do espectofotômetro.

2.2. CRIOPRESERVAÇÃO

O procedimento de criopreservação foi adaptado do sistema utilizado por Hwang e Horneland (1965). Para isso, previamente preparou-se as soluções criopreservantes a serem utilizadas: glicerol 10% (v/v) em água bidestilada (S1), DMSO 5% (v/v) em água bidestilada (S2) e metanol 10% (v/v) em água bidestilada (S3). Em seguida, 18 amostras foram preparadas para o processo de criopreservação, 06 para cada solução criopreservante. Em cada amostra, 0,75 mL de solução criopreservante e 0,75 mL de células da cepa foram transferidos assepticamente para frascos estéreis e tampados com algodão, como mostra a Figura 1. Então, as amostras foram submetidas a etapa de congelamento não controlado, na qual foram colocadas em freezer de uso doméstico a aproximadamente -15 °C.

A cada semana, amostras foram retiradas do freezer e submetidas a etapa de descongelamento, na qual foram submetidas a um banho de água a 38 °C até o desaparecimento de todo o gelo. Após o descongelamento, o conteúdo total de cada amostra foi ressuspenso em 30 mL de meio BG11 e incubado à 25°C e intensidade luminosa de 100 µE.m^{-2}.s^{-1} por 15 dias.

Figura 1 - Sistema de amostras submetidas a criopreservação



A viabilidade celular foi verificada de acordo com a capacidade de crescimento das amostras após a criopreservação, a qual foi determinada através da concentração da biomassa microalgal após 15 dias. As análises foram realizadas em duplicata e o desvio padrão amostral foi calculado.

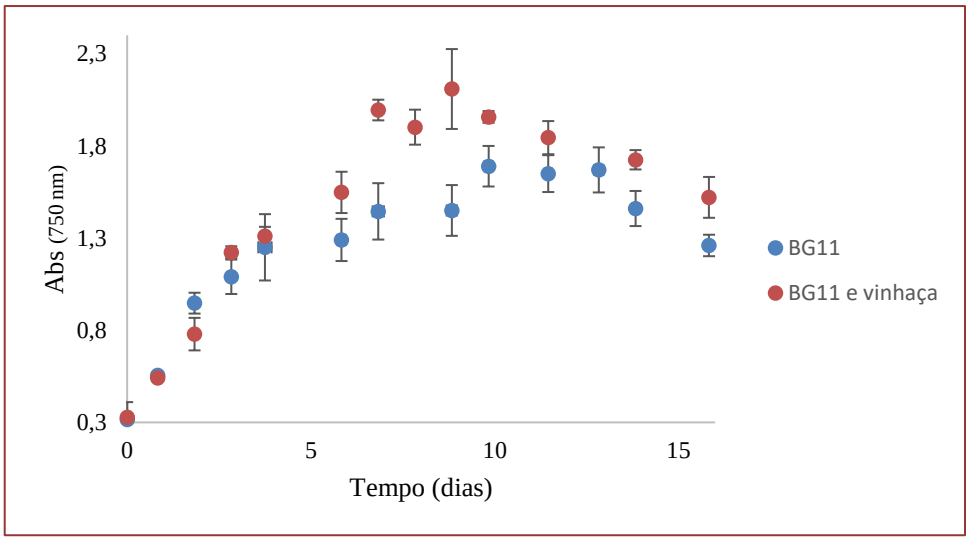
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EFEITO DO MEIO NUTRIENTE NO CRESCIMENTO CELULAR

A espécie de microalga utilizada foi a *Chlorella vulgaris*, a qual era praticamente axênica e cresceu em meio BG11 à 25°C e intensidade luminosa de 100 $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$. Foi medida a absorbância de cada amostra diariamente e juntamente com a curva de calibração das mesmas, foi possível obter a curva cinética de crescimento de cada amostra. A Figura 2 apresenta a curva de crescimento da Chlorella em meios BG11 e BG11 com vinhaça.

A curva de crescimento da *C. vulgaris* apresentou um comportamento semelhante para ambos os meios de cultivo. Não foi observado uma fase de indução ao crescimento, na qual ocorre a fase de adaptação do microrganismo com o meio nutriente. Foi observado uma fase de crescimento longo, do início do cultivo até o sétimo dia de cultivo, etapa caracterizada pelo crescimento celular exponencial. A partir do sétimo dia houve um estágio transição e desaceleração da taxa de crescimento ocorreu até o nono dia, onde iniciou-se a fase estacionária. A fase de declínio foi observada a partir do 13° dia.

Figura 2 – Curva cinética de crescimento baseada na densidade ótica da cepa *Chlorella vulgaris* em meio BG11 e em meio BG11 com 2% de vinhaça



Candido *et al.* (2015) avaliou o cultivo de C. vulgaris em meio de cultivo contendo de 10 a 100% de vinhaça e foi observado que quanto maior a concentração de vinhaça, maior foi a absorbância a 570 nm. Além disso, foi observado que meios contendo concentrações de 10 a 30% de vinhaça convencional centrifugada e 80% de vinhaça biodigerida filtrada proporcionaram densidades celulares semelhantes as obtidas com meio BG11, mas não superiores. Porém, o presente trabalho permite constatar que a adição de 2% de vinhaça em BG11 proporciona densidade ótica superiores ao meio BG11. Com isso, concluiu-se que a junção dos dois meios (BG11 e vinhaça) confere melhores resultados do que ambos isolados.

A concentração de vinhaça no meio de cultivo também influencia o crescimento do microrganismo. Melo (2015), por exemplo, avaliou que o cultivo de *Chlorella sp*. em meio BBM (Bold´s Basal Medium) com adição de 5 e 10% de vinhaça garantiu maiores densidades celulares em relação aos meios de cultivos sem vinhaça e com 15% de vinhaça.

Em geral, o meio BG11 é o meio sintético mais utilizado em larga escala no cultivo de microalgas, por ser altamente nutritivo e propiciar alto rendimento celular, porém possui elevado custo. Além de otimizar o cultivo da microalga *C. vulg*aris, a adição de vinhaça ao meio BG11 permite redução nos custos de produção, pois a vinhaça é um resíduo da indústria sucroalcooleira de baixo custo.

3.2. CRIOPRESERVAÇÃO DE *C. VULGARIS*

Como a fase de crescimento da suspensão microalgal influencia a eficiência da criopreservação, inicialmente determinou-se a curva cinética de crescimento, a qual está apresentada na Figura 2. Assim como Leiva e Dupre (2011) e Ali et al. (2021), esse trabalhou também utilizou para criopreservação uma cultura colhida em seu 6° dia de cultivo, que se encontrava em fase de crescimento exponencial, com concentração média de 18,46 g/L.

Após o processo de refrigeração e descongelamento, as células foram ressuspensas em meio BG11 para avaliar a viabilidade do processo. Diante disso, foi possível visualizar a multiplicação de células microalgais de forma crescente no decorrer do tempo. A Figura 3 ilustra o crescimento da amostra de microalga que foi criopreservada por 1 semana, após ressuspensa em meio BG11 durante 0, 1 e 2 semanas. Pode-se observar, em uma abordagem simples e robusta, a viabilidade celular pós-criopreservação pelo crescimento da cultura em suspensão.

Figura 3 - Multiplicação de células microalgais pós-criopreservação ressuspensas em meio de cultivo BG11 no decorrer do tempo

As concentrações de cada amostra criopreservada após 15 dias de ressuspensão em meio BG11 estão apresentados na Figura 4. Analisando o gráfico da Figura 4 e fazendo uma comparação entre as soluções crioprotetoras, observa-se que aparentemente os melhores resultados foram obtidos com a solução de glicerol. Entretanto, foi percebido que o meio contido nos biorreatores com as amostras de glicerol se distinguia dos demais, com biomassa de coloração amarelada e com sobrenadante de aspecto turvo e esbranquiçado. Diante disso, as amostras foram avaliadas em microscópio, no qual pôde-se verificar que a morfologia das células apresentava formato diferente da *C. vulgaris*, ao contrário das amostras criopreservadas com DMSO e metanol, como mostra a Figura 5. Logo, foi constatado que o glicerol permitiu o crescimento de outros microrganismos no meio. Pode ser que a concentração de 10% (v/v) de glicerol tenha fornecido efeitos tóxicos a célula microalgal, induzindo alterações em sua estrutura. Plattner *et al.* (1972) também verificaram que a utilização de glicerol induziu alterações na estrutura em cepas de Chlorella. É importante que o agente crioprotetor promova a viabilidade celular e minimize os danos celulares causados pela formação de cristais de gelo intra e extracelular (Morschett *et al.*, 2016).

Figura 4 - Concentração de biomassa de *C. vulgaris* produzida 15 dias após diferentes períodos de criopreservação com glicerol 10% (v/v), DMSO 5% (v/v) e metanol 10% (v/v)

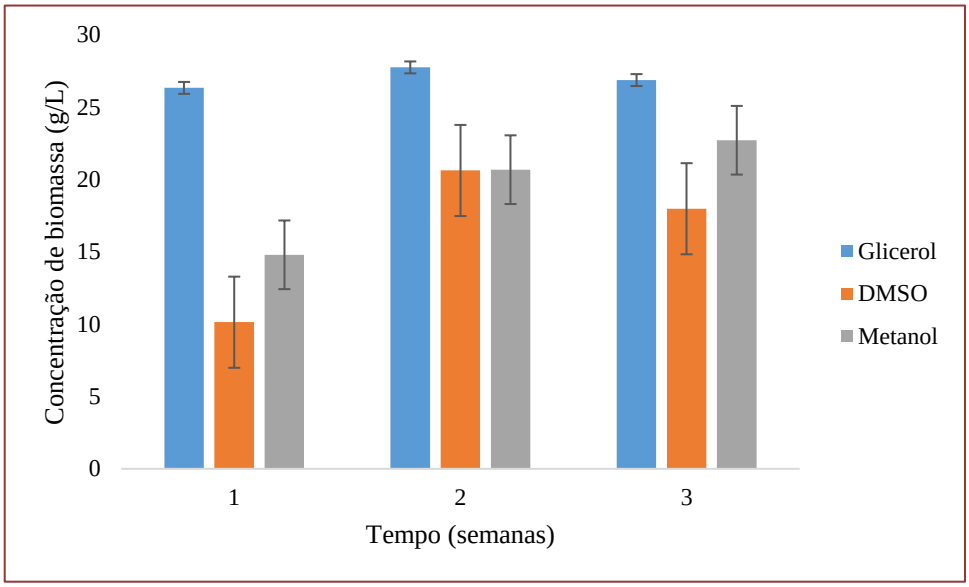
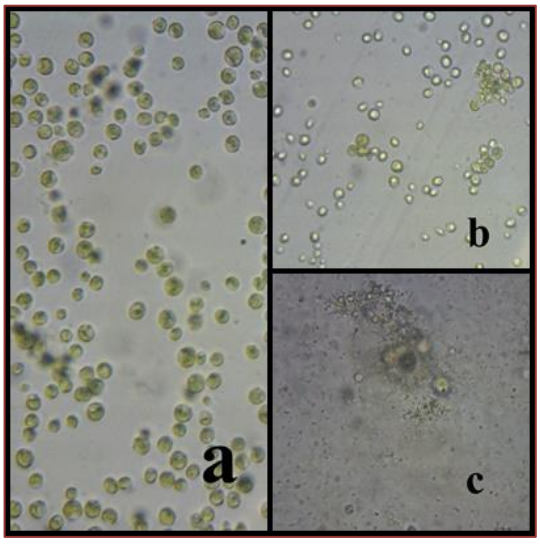


Figura 5 - Imagens microscópicas de *C. vulgaris*, sob lentes de 40x, após criopreservação em soluções crioprotetoras de: a. metanol; b. dimetilsulfóxido e c. glicerol



Assim como este trabalho, Nakanishi *et al.* (2012) não obtiveram células de *C. vulgaris* sobreviventes após a criopreservação com glicerol 5% (v/v) em nitrogênio líquido (-196°C). Por outro lado, Hwang e Horneland (1965) obtiveram viabilidade pós congelamento satisfatória de diversas estirpes de Chlorella utilizando o glicerol 10% (v/v). Contudo, deve-se considerar que os mesmos utilizaram culturas entre 4 e 8 dias após a inoculação (de acordo com a taxa máxima de crescimento) e que criopreservaram as cepas em banho de acetileno glicol seco a -79°C a taxa descontrolada e controlada (1°C.min^{-1}). O modo de congelamento, a concentração da solução crioprotetora e a fase de crescimento do microrganismo utilizada são fatores que afetam a viabilidade das células e, portanto, podem ter causado o insucesso com relação ao glicerol.

Deste modo, as amostras criopreservadas com solução de metanol apresentou a maior viabilidade pós-congelamento nestas condições (22,71 g/L após 3 semanas criopreservadas). Entretanto, Tzovenis *et al.* (2004) avaliou a criopreservação de duas espécies de Chlorella (*C. minutíssima e C. capsulata*) em soluções crioprotetoras de DMSO e de metanol, na qual obteve melhores resultados com o DMSO. Gwo *et al.* (2005) obtiveram viabilidade semelhante de criopreservação de *Nannocloropsis oculata* com DMSO e metanol como agentes crioprotetores.

Além disso, a solução crioprotetora de DMSO também resultou em resultados satisfatórios. Saadaoui *et al.* (2016) também obtiveram êxito na recuperação de isolados de Chlorella pós-congelamento com soluções de DMSO e metanol a 5 e 10% (v/v), mantendo a conservação das cepas por até 1 ano, através de métodos de congelamento utilizando freezer (-80°C), nitrogênio líquido (-196°C) e resfriamento a taxa controlada (1°C.min^{-1}) de 25 para -30°C. Guermazi *et al.* (2010) também alcançou alta viabilidade ao criopreservar *C. vulgaris* com soluções criopreservantes de 10 e 15% de DMSO. Kapoore *et al.* (2019) criopreservaram *C. vulgaris* em metanol 5% (v/v) com viabilidade de 65±12% em congelamento em freezer a -15°C por 24h. Já com DMSO 10% (v/v), Morschett *et al.* (2016) obteve aproximadamente de 65% de viabilidade e 3,6x10^{8} células/mL, ao criopreservar esta cepa em freezer a -80°C por 24h. Os solventes metanol e DMSO apresentam facilidade em penetrar as membranas celulares devido à sua baixa hidrofilicidade e peso molecular, formando ligações de hidrogênio com as moléculas de água e prevenindo a formação de cristais de gelo (Bui *et al.*, 2013).

Outro fator importante a ser considerado para o sucesso pós-criopreservação é a fase de crescimento da suspensão de células a serem criopreservadas, pois este fator está relacionado à morfologia celular. Segundo Morschett *et al.* (2016), o uso de suspensão celular em fase estacionária promoveu melhores resultados para a criopreservação independente das condições de resfriamento testadas. Enquanto que as amostras criopreservadas em fase de crescimento apresentaram um crescimento mais lento pós-criopreservação. A composição físico-química das microalgas muda de acordo com a fase de crescimento em que se encontra. As células microbianas na fase estacionária contém uma parede celular mais rígida e na ausência de nutrientes, amido e lipídios se acumulam (Lee *et al.*, 2015; Morschett *et al.*, 2016).

Segundo Hwang e Horneland (1965), a criopreservação à taxa de resfriamento controlada promove melhores resultados do que à taxa não controlada, a qual prejudica a atividade mitótica das cepas. Apesar disso, o presente trabalho alcançou viabilidade considerável utilizando a criopreservação a taxa não controlada.

Este trabalho se destaca dos demais pela eficiência obtida apesar da simplicidade do processo. Neste estudo, a exposição de *C. vulgaris* às soluções de metanol e DMSO não afetou sua recuperação nem sua estrutura celular após 3 semanas sob criopreservação, como mostra a Figura 5, e, portanto, não fornecendo efeitos tóxicos a célula. Com relação ao período de criopreservação das amostras, percebe-se que maior concentração de biomassa foi obtida com as amostras congeladas por 3 semanas em solução de metanol.

4. CONCLUSÃO

As curvas cinéticas de crescimento obtidas no presente trabalho permitiram avaliar que a adição de 2% de vinhaça ao meio BG11 otimizou o crescimento da *C. vulgaris*, em comparação com o meio BG11 isolado. Esse resultado é satisfatório não só no aspecto produtivo, mas também no aspecto econômico devido ao baixo custo da linhaça em relação ao meio sintético BG11.

O processo de criopreservação testado determinou que o metanol proporcionou maior viabilidade pós-congelamento. As amostras criopreservadas com a solução metanol se readaptaram e cresceram, atingindo uma concentração de até 22,71 g/L após 3 semana de armazenamento. O DMSO também atuou de forma eficiente, porém de forma menos expressiva, atingindo 20,62 g/L após 2 semanas de armazenamento. Entretanto, o glicerol não foi eficaz na conservação da cepa, pois as células sofreram danos que afetaram a sua estrutura e viabilidade após o congelamento.

Apesar do protocolo investigado ser simples e econômico, ele se mostrou eficaz na criopreservação da *C. vulgaris*. Devido ao seu potencial, a investigação de novas condições operacionais para otimizar o processo é sugerida.

REFERÊNCIAS

[1] ALI, P.; FUCICH, D.; SHAH, A. A.; HASAN, F.; CHEN, F. Cryopreservation of cyanobacteria and eukaryotic microalgae using exopolysaccharide extracted from a glacier bacterium. Microorganisms, v. 9, n. 2, p. 395, 2021.

[2] BUI, T. V.; ROSS, I. L.; JAKOB, G.; HANKAMER, B. Impact of procedural steps and cryopreservation agents in the cryopreservation of chlorophyte microalgae. PLoS One, v. 8, n. 11, p. e78668, 2013.

[3] CANDIDO, C.; LOMBARDI, A.; LIMA, M. Cultivo de Chlorella vulgaris em vinhaça filtrada. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 35, p. 55-62, 2015.

[4] FU, W.; CHAIBOONCHOE, A.; KHRAIWESH, B.; NELSON, D. R.; AL-KHAIRY, D.; MYSTIKOU, A.; ALZAHMI, A.; SALEHI-ASHTIANI, K. Algal Cell Factories: Approaches, Applications, and Potentials. Marine Drugs, v. 14, n. 12, p. 225, 2016.

[5] GUERMAZI, W.; SELLAMI-KAMMOUN, A.; ELLOUMI, J.; DRIRA, Z.; ALEYA, L.; MARANGONI, R.; AYADI, H.; MAALEJ, S. Microalgal cryo-preservation using dimethyl sulfoxide (Me2SO) coupled with two freezing protocols: Influence on the fatty acid profile. Journal of Thermal Biology, v. 35, n. 4, p. 175-181, 2010.

[6] GWO, J.-C.; CHIU, J.-Y.; CHOU, C.-C.; CHENG, H.-Y. Cryopreservation of a marine microalga, Nannochloropsis oculata (Eustigmatophyceae). Cryobiology, v. 50, n. 3, p. 338-343, 2005.

[7] HWANG, S. W.; HORNELAND, W. Survival of algal cultures after freezing by controlled and uncontrolled cooling. Cryobiology, v. 1, n. 5, p. 305-11, 1965.

[8] JAIN, K. K.; KUMAR, S.; DESWAL, D.; KUHAD, R. C. Improved Production of Thermostable Cellulase from Thermoascus aurantiacus RCKK by Fermentation Bioprocessing and Its Application in the Hydrolysis of Office Waste Paper, Algal Pulp, and Biologically Treated Wheat Straw. Applied Biochemistry and Biotechnology, v. 181, n. 2, p. 784-800, 2017.

[9] KAPOORE, R. V.; HUETE-ORTEGA, M.; DAY, J. G.; OKUROWSKA, K.; SLOCOMBE, S. P.; STANLEY, M. S.; VAIDYANATHAN, S. Effects of cryopreservation on viability and functional stability of an industrially relevant alga. Scientific Reports, v. 9, n. 1, p. 2093, 2019.

[10] LEE, E.; JALALIZADEH, M.; ZHANG, Q. Growth kinetic models for microalgae cultivation: a review. Algal research, v. 12, p. 497-512, 2015.

[11] LEIVA, J.; DUPRE, E. Cryopreservation of the microalgae Chaetoceros calcitrans (Paulsen): analysis of the effect of DMSO temperature and light regime during different equilibrium periods. Latin american journal of aquatic research, v. 39, n. 2, p. 271-279, 2011.

[12] MELO, D. J. N. D. Utilização de vinhaça no cultivo de Chlorella sp. 2015. 83 (Mestrado em Engenharia Química). PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA, Universidade Federal de Campina Grande, Sistema de Bibliotecas da UFCG.

[13] MORSCHETT, H.; REICH, S.; WIECHERT, W.; OLDIGES, M. Simplified cryopreservation of the microalga Chlorella vulgaris integrating a novel concept for cell viability estimation. Engineering in life sciences, v. 16, n. 1, p. 36-44, 2016.

[14] NAKANISHI, K.; DEUCHI, K.; KUWANO, K. Cryopreservation of four valuable strains of microalgae, including viability and characteristics during 15 years of cryostorage. Journal of applied phycology, v. 24, n. 6, p. 1381-1385, 2012.

[15] PLATTNER, H.; FISCHER, W. M.; SCHMITT, W. W.; BACHMANN, L. Freeze etching of cells without cryoprotectants. The Journal of cell biology, v. 53, n. 1, p. 116-126, 1972.

[16] RIPPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J. B.; HERDMAN, M.; STANIER, R. Y. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. Microbiology, v. 111, n. 1, p. 1-61, 1979.

[17] SAADAOUI, I.; AL EMADI, M.; BOUNNIT, T.; SCHIPPER, K.; AL JABRI, H. Cryopreservation of microalgae from desert environments of Qatar. Journal of applied phycology, v. 28, n. 4, p. 2233-2240, 2016.

[18] TZOVENIS, I.; TRIANTAPHYLLIDIS, G.; NAIHONG, X.; CHATZINIKOLAOU, E.; PAPADOPOULOU, K.; XOURI, G.; TAFAS, T. Cryopreservation of marine microalgae and potential toxicity of cryoprotectants to the primary steps of the aquacultural food chain. Aquaculture, v. 230, n. 1-4, p. 457-473, 2004.

Capítulo 14

Avaliação do efeito da modificação da acidez de Brønsted promovida pela dessilicação da zeólita Beta na transformação do 2-metiltiofeno

Angélica Amaral de Oliveira
Ana Luíza Freitas Ferreira
Manuela Lisboa de Oliveira
Jamile Conceição de Jesus Rocha
Ronaldo Costa Santos
Luiz Antônio Magalhães Pontes

Resumo: A aplicação de zeólita Beta dessilicada como aditivo para o abatimento de enxofre no processo de Craqueamento Catalítico Fluidizado (FCC) apresenta-se como um caminho promissor devido a boa atividade desta ao craqueamento de compostos sulfurados a H2S, os quais são facilmente removidos da faixa da gasolina. Neste trabalho, a zeólita Beta dessilicada, obtida a partir da dessilicação de uma zeólita Beta comercial, foi aplicada na transformação do 2-metiltiofeno (2MT). O efeito da dessilicação nas propriedades texturais, químicas, estruturais e de acidez foi investigado através das técnicas de Fisissorção de N2, FRX, DRX, TPD de amônia e FTIR de piridina respectivamente. Os resultados mostraram que a dessilicação da zeólita Beta propiciou uma maior acessibilidade aos sítios catalíticos e o aumento do número de sítios ácidos fortes de Brønsted. O catalisador dessilicado apresentou uma formação de H2S 62% maior comparado a zeólita Beta precursora.

Palavras-chave: Zeólita Beta, Dessilicação, Dessulfurização, Craqueamento

1. INTRODUÇÃO

As legislações que especificam os teores de enxofre permitidos nos combustíveis vêm aumentando seu rigor a fim de mitigar os problemas ambientais existentes (1). As unidades de hidrodessulfurização (HDS) são as mais utilizadas no processo de dessulfurização de combustíveis nas refinarias, entretanto, este processo possui um alto custo e leva a diminuição da octanagem da gasolina (2). Uma alternativa é a dessulfurização *in situ* na unidade de Craqueamento Catalítico Fluidizado (FCC), que é responsável por cerca de 90% do total de enxofre presente na gasolina (3). A utilização de aditivos redutores de enxofre (*Gasoline Sulfur Reduction aditives* - GSR) ao catalisador de FCC promove a transformação de compostos sulfuradosem H_2S que é, facilmente, separado das correntes líquidas da unidade.

A zeólita Beta microporosa vem sendo estudada como catalisador em processos de dessulfurização devido a sua capacidade de promover reações de transferência de hidrogênio e boa capacidade adsortiva a compostos sulfurados (4). No entanto, esta pode apresentar restrições a acessibilidade dos sítios ativos por moléculas volumosas, dificultando a difusão molecular no interior da estrutura, o que pode ser superado pela utilização de metodologias de dessilicação (5).

A dessilicação de zeólitas pode promover a formação de defeitos na superfície externa destas, formando sítios catalíticos e aumentando a atividade catalítica para reações de craqueamento que ocorrem em sítios ácidos fortes de Brønsted (6). Nesse contexto, este trabalho avaliou as modificações na força dos sítios ácidos de Brønsted promovida pela dessilicação da zeólita Beta e o efeito desta sobre a transformação do 2-metiltiofeno em uma corrente den-hexano.

2. EXPERIMENTAL

2.1. DESSILICAÇÃO DA ZEÓLITA BETA

Para a dessilicação, a zeólita beta comercial - *Zeolyst International* CP814N SAR 18, na forma protônica, foi submetida a um tratamento alcalino. A zeólita foi colocada em contato com uma solução 0,1 molar de NaOH – Sigma Aldrich (razão da suspensão: 3,3 g de zeólita/100 mL de solução), a temperatura de 55 °C e agitação constante. Após45 minutos, o material foi resfriado, centrifugado, lavado com água deionizada até atingir pH neutro e seco (100 °C, por 12 horas). Após o tratamento, a zeólita dessilicada na forma sódica foi transformada em sua forma amoniacal através de um processo de troca iônica, em triplicata, com uma solução 1 molar de NH_4Cl – Sigma Aldrich (1 g zeólita/25 mL solução, a temperatura ambiente e a agitação constante por 1 hora). Por último, a zeólita dessilicadaamoniacal foi centrifugada, lavada, seca (100 °C) e calcinada por 5 horas (500 °C, com rampa de aquecimento de 5 °C/min).

2.2. CARACTERIZAÇÕES

Para análise das propriedades texturais, utilizou-se a técnica de Fisissorção de N_2 a -196 °C através do equipamento Micromeritics–ASAP 2020. Para determinação da composição química foi utilizada a Fluorescência de Raios X (FRX) a partir do equipamento Bruker S2 Ranger com radiação de Pd e um detector XFlash® Silicon Drift. As modificações estruturais foram avaliadas por Difração de Raios X, com suporte de um difratômetro Rigaku Minifex, com intervalo de 2θ entre 5- 90°, rampa de varredura 10°/min e radiação de Cu Kα (λ=1.5418 Å). A estimativa para o cálculo do tamanho do cristalito seguiu metodologia reportada por Lindley e Moss (1970).O coque formado, após os testes catalíticos, foi quantificado por análises termogravimétricas através do equipamento Shimadzu TGA-60, com atmosfera oxidante (50 mL/min), até 800 °C (20°C/min). A perda de massa observada na faixa de 300 a 700°C foi considerada como coque. Para análise da quantidade e força dos sítios ácidos totais empregou-se a técnica de Dessorção de Amônia à Temperatura Programada (TPD) através de um analisador Micromeritics de quimisorção Auto Chem II 2920, com detector de condutividade térmica (TCD). Para determinar anatureza dos sítios ácidos presentes na superfície das zeóltas, utilizou-se análises de FTIR, in situ, com piridina adsorvida através de uma célula de transmissão com janelasde ZnSe e um espectrômetro Bruker (Vertex 70) equipado com um detector MCT. O número dos sítios ácidos fortes deBrønsted pode ser medido de forma indireta através da taxa de reação de craqueamento do n-hexano, também chamado de teste α. O teste foi realizado a uma velocidade espacial de $0,83 s^{-1}$, a 500°C e pressão atmosférica. A taxa de reaçãofoi calculada conforme a Equação 1.

$$-r_{hexano} = \frac{F_{hexano} * X_{hexano}}{W} \quad (1)$$

Onde:

($-r_{hexano}$): taxa de consumo de n-hexano (mol/gcat.h),

F_{hexano}: vazão molar de alimentação (mol/h),

X_{hexano}: conversão do hexano,

W: massa de catalisador

2.3. TESTE CATALÍTICO

A reação foi realizada em fase gasosa utilizando uma corrente de n-hexano contendo 2- metiltiofeno (100 ppm) em um reator de leito fixo, operando a pressão atmosférica e a temperature de 500 °C. A vazão de entrada do reagente foi de 0,2 mL/min, utilizando N_2 como gás diluente e velocidade espacial 0,83 s^{-1}. Os catalisadores foram pré- tratados, in situ, no reator com atmosfera de nitrogênio a 500°C por 2 h. Os produtos da reação foram analisados em um cromatógrafo a gás Agilent® modelo 7890B. Na separação dos hidrocarbonetos foi utilizada uma coluna capilar Alumina clorada SUPELCO 50m x 0,32mm x 5µm e um detector de ionização por chama (FID). A separação dos compostos sulfurados foi realizada em uma coluna capilar DB-Sulphur 40m x 0,32mm x 0,75µm e detecção por quimiluminescência de enxofre com um queimador de DualPlasma (SCD-DP). As conversões do n-hexano e do 2- metiltiofeno foram calculadas a partir das Equações 2 e 3, respectivamente. A formação dos produtos foi calculada a partir da Equação 4.

$$Conversão_{hexano}(\%) = \frac{mol°_{-hexano} - md'_{hexano}}{mol°_{hexano}} * 100 \quad (2)$$

$$Conversão_{2-metiltiofeno}(\%) = \frac{mol°_{2-metiltiofeno} - mol'_{2\ metiltiofeno}}{mol°_{2-metiltiofenoi}} * 100 \quad (3)$$

$$Formação^{x}(\%) = \frac{mol_{transformado\ para\ x}}{mol_{reagido}} * 100 \quad (4)$$

Onde:

mol° : quantidade em mols na entrada,

mol': número de mols na saída do reator,

X: produto de interesse medido na saída do reator.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS CATALISADORES

Os resultados das análises texturais, químicas e estruturais dos catalisadores são apresentados na Tabela 1.

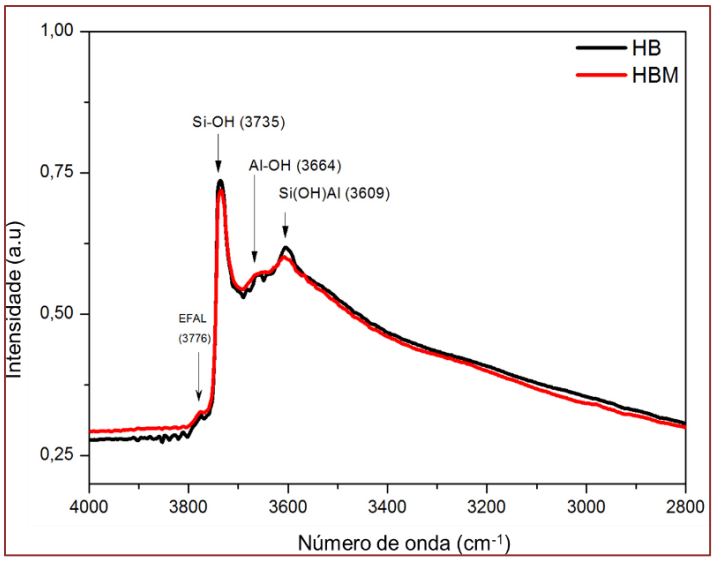
Tabela 1. Propriedades texturais, estruturais e químicas dos catalisadores

Parâmetro	HB	HBM
$V_{microporos}$[a] (cm^3/g)	0,145	0,142
$V_{mesoporos}$[b] (cm^3/g)	0,456	0,455
V_{total}[c] (cm^3/g)	0,602	0,597
$S_{externa}$ (m^2/g)	236	231
S_{BET} (m^2/g)	637	627
SAR[d]	18	17
Tamanho do cristal[e] (nm)	781	705
Cristalinidade relativa[e] (%)	100	90

a)t-plot b) $V_{mesoporos}=V_{total}-V_{microporos}$ c) Calculado em$P/P_o=0,98$ d) FRX e) DRX

A partir da análise química verifica-se que o tratamento alcalino levou a uma diminuição do SAR devido a extração seletiva de silício da estrutura. Esta modificação não promoveu mudanças significativas nas características texturais do catalisador. No entanto, houve uma redução da cristalinidade relativa e do tamanho do cristal. Estes resultados permitem inferir que essas alterações ocorreram, majoritariamente, na superfície da zeólita, já que não houve redução significativa do volume de microporos. Na Figura 1 é apresentado o FTIR estrutural dos catalisadores HB e HBM.

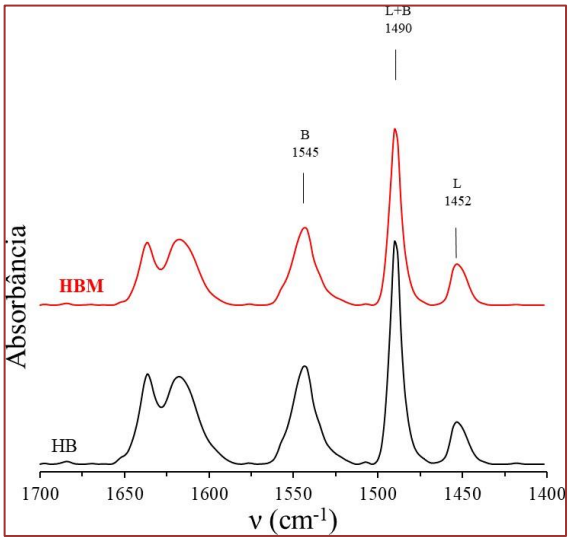
Figura 1. FTIR estrutural dos catalisadores HB e HBM



A partir da análise de FTIR estrutural verifica-se que houve a desprotonação preferencial dos grupos Si-OH superficiais em relação aos grupos Al-OH, os quais são menos propensos a desprotonação em meio

básico (7). A redução da intensidade do pico associado aos sítios ácidos do tipo hidroxila em ponte (Si-OH-Al) pode ser atribuído asmodificações na superfície externa do catalisador HBM, indicado pela redução do tamanho do cristal em relação a sua precursora (8). Na Figura 2 é apresentado os resultados do FTIR de piridina quimissorvida aos catalisadores.

Figura 2. FTIR de piridina dos catalisadores HB e HBM



B= sítios ácidos de Brønsted L= sítios ácidos de Lewis

A concentração de sítios ácidos de Brønsted sofreu uma redução no HBM, o que é atribuído a redução dos grupos Si-OH e Si-OH-Al, indicado pelo FTIR estrutural na zeólita após tratamento alcalino. No entanto, para este catalisador houve um ligeiro aumento da acidez de Lewis que é associado a formação de alumino extra rede, em decorrência da dessilicação da zeólita (9). Estas modificações levaram a alterações no número total de sítios ácidos (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados das análises de TPD de amônia e teste α paraos catalisadores HB e HBM

Parâmetro	HB	HBM
Teste α ($mol_{n\text{-}hexane} g_{cat}^{-1} min^{-1}$)	1	2
Sítios fracos[a] (µmol/g)	508 (34%)	458 (36%)
Sítios moderados[a] (µmol/g)	993 (66%)	830 (64%)
Sítios totais[a] (µmol/g)	1501	1288

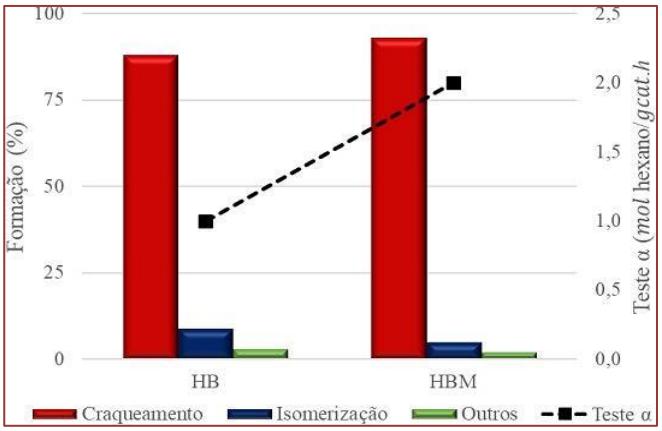
a)TPD de amônia

Observa-se que ambos os catalisadores, HB e HBM,possuem majoritariamente acidez moderada (>60%), com azeólita Beta precursora (HB) possuindo maior concentraçãode sítios ácidos totais e de Brønsted. No entanto, o teste α indica que no HBM possui o dobro do número de sítios fortes de Brønsted que o HB. Este resultado é associado a maior acessibilidade aos sítios catalíticos promovida pela redução do tamanho do cristal zeolítico (Tabela 1) (10).

3.2. TRANSFORMAÇÃO DO N-HEXANO

As reações de transformação do n-hexano ocorreram a baixa conversão (<12%). Os produtos foram classificados em reações de craqueamento (C1 a C5), isomerização (iC6) e outras reações que apresentaram baixa seletividade (mono e diolefinas, naftênicos e produtos de alto peso molecular). Os produtos das reações do n-hexano são expostos no Figura 3.

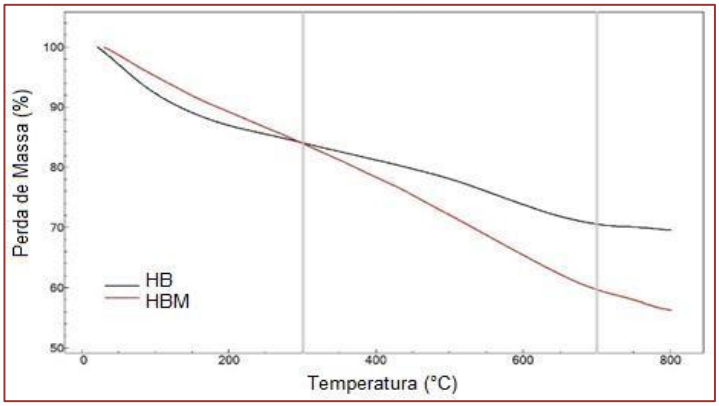
Figura 3. Formação a produtos de transformação do n-hexano



Sobre o catalisador HBM, houve uma maior formação deprodutos de craqueamento em detrimento dos de isomerização na transformação do n-hexano, o que foi associado ao incremento do número de sítios fortes de Brønsted, estimado via teste α. No craqueamento de hidrocarbonetos, os sítios ácidos realizam a ativação e quebra das ligações C-H (11). Neste mecanismo, inicialmente, há a formação do íon carbênio devido à ação de um sítio ativo sobre o reagente. Em seguida, um íon hidreto é transferido do reagente para o íon carbênio recém-formado, o qual é etapa em comum das reações de craqueamento, favorecido em sítios fortes, e isomerização (11).

O íon carbênio adsorvido em um sítio ácido pode sofrerrearranjo para formas mais estáveis. Este íon ao sofrer dessorção dá origem a isômeros do n-hexano ou se ainda adsorvido, pode reagir com outra molécula reagente e sofrer cisão β e transferência de hidrogênio gerando uma olefina e um carbocátion adsorvido no sítio ácido. Há ainda apossibilidade de o íon carbênio reagir com outra molécula eseguir mecanismo de craqueamento protolítico, gerando parafinas e restituindo o sítio ácido. A formação desta parafina pode vir ainda de reações de transferência de hidrogênio entre olefinas e naftênicos, que produzem aromáticos pesados, aos quais são precursores de coque (4). As análises termogravimétricas foram utilizadas para estimar a quantidade de coque formado sobre os catalisadores. As curvas de perda de massa estão expostas na Figura 4.

Figura 4. Formação a reações de transformação do n-hexano



O teor total de coque estimado com a perda de massa da faixa de 300 a 700 °C, foi de 24,3% para o catalisador HBMe de 13,6% para o HB. É observado que com aumento do número de sítios ácidos fortes de Brønsted, há um maior teor de coque, o que indica que o catalisador HBM promove mais reações de transferência de hidrogênio do que o HB. O hidrogênio proveniente das reações de ciclização, desidrogenação, oligomerização e da formação de coque podem levar a saturação de compostos sulfurados adsorvidos no catalisador, diminuindo a energia de ativação para o craqueamento deste

(11,12).

3.3. TRANSFORMAÇÃO DO 2-METILTIOFENO

Os principais produtos da transformação do 2- metiltiofeno (2MT) são H_2S, mercaptanas, 3-metiltiofeno (3MT) e outros produtos com baixa formação (tiofeno, 2,4- dimetiltiofeno, etil e propil tiofênicos, benzotiofeno e metildibenzotiofeno). As formações a estes produtos para os catalisadores estão apresentadas na Tabela 3.

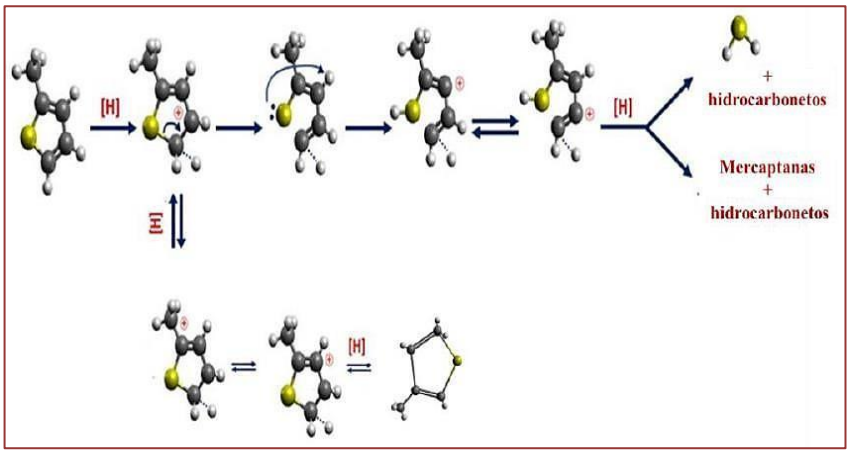
Tabela 3. Formação a produtos da transformação do 2-metiltiofeno sobre os catalisadores HB e HBM

Produtos	HB	HBM
H_2S (%)	52	84
Mercaptanas (%)	2	2
3-metiltiofeno (%)	40	11
Outros (%)	6	3

O produto majoritariamente formado para ambos os catalisadores, HB e HBM, foi o H_2S. No entanto, o aumento do número de sítios ácidos fortes de Brønsted acessíveis no HBM, levou ao desfavorecimento da reação de isomerização, ao qual leva a formação de 3-metiltiofeno, e favoreceu a formação de H_2S que é o principal produto de craqueamento do 2-metiltiofeno. A distribuição dos produtos de transformação do 2-metiltiofeno, seguiram a mesma tendência apresentada na transformação do n- hexano, onde a ordem de seletividade a reações foi: craqueamento > isomerização > outros (condensação, alquilação e desalquilação).

Na Figura 5 é apresentado um esquema proposto domecanismo de craqueamento e de isomerização do 2-metiltiofeno sobre os sítios de Brønsted nos catalisadores.

Figura 5. Esquema do mecanismo de formação do 3-metiltiofeno,H_2S e mercaptanas



Nas transformações do 2-MT, a saturação do anel tiofênico via reações de transferência de hidrogênio e a abertura do anel tiofênico são as etapas mais importante da reação de craqueamento, que leva a formação de H_2S, mercaptanas e hidrocarbonetos. A aromaticidade do anel tiofênico lhe confere estabilidade e resistência química a esta reação. No entanto, ao sofrer um ataque eletrofílico nas posições α ou β por um eletrófilo (H^+), há a formação de um íon carbênio em um sítios ácidos de Brønsted, o que favorece a abertura do anel tiofênico (13). A espécie adsorvida sofre saturação via reações de transferência de hidrogênio, proveniente de um hidrocarboneto adsorvido em um sítio ácido vizinho. O composto saturado gerado craqueia formando H_2S ou mercaptana e hidrocarbonetos (4). Enquanto se o íon carbênio adsorvido, sofrer deslocamento da metila, seguira rota de isomerização, levando a formação de 3-

metiltiofeno (14). Desta forma, a rota preferencial dependera da força do sítio em que a reação está ocorrendo.

A dessilicação da zeólita Beta levou a maior acessibilidade dos sítios ácidos fortes de Brønsted, o que ocasionou um favorecimento da formação de H_2S e das reações de transferência de hidrogênio. No entanto, a maiordisponibilidade de hidrogênio promovida por estecatalisador, não alterou a formação de mercaptanas,indicando que a disponibilidade de hidrogênio não estálimitando sua formação.

4. CONCLUSÕES

A dessilicação da zeólita Beta resultou em modificações químicas, estruturais e de superfície. Estas mudanças no catalisador HBM ocasionaram o aumento do número de sítios ácidos fortes de Brønsted. A alteração na força destes sítios promovida pela dessilicação levaram ao aumento de aproximadamente 62% na formação de H_2S. O catalisador HBM apresentou maior formação de produtos de craqueamento, em detrimento dos produtos de isomerizaçãotanto para os hidrocarbonetos, quanto para os sulfurados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do CAPES e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

REFERÊNCIAS

[1] GAO, Q.; ZHANG, Y.; ZHOU, K.; WU, H.; GUO, J.; ZHANG, L.; DUAN, A.; ZHAO, Z.; ZHANG, F.; ZHOU, Y. Synthesis of ZSM-5/KIT-6 with a tunable pore structure and its catalytic application in the hydrodesulfurization of dibenzothiophene and diesel oil. RSC Advances, v. 8, n. 51, p. 28879–28890, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1039/C8RA05675G.

[2] SANTOS, R. C.; ALMEIDA, D. F.; PONTES, D. A.; LAU, L. Y. Thiophene cracking on zinc modi fi ed beta zeolite. Molecular Catalysis, v. 470,n. March, p. 112–119, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.04.001.

[3] NADEINA, K. A.; KLIMOV, O. V.; DANILOVA,G.; PEREYMA, V. Y.; GERASIMOV, E. Y.; PROSVIRIN, I. P.; NOSKOV, A. S. Amorphous silica-alumina – perspective supports for selective hydrotreating of FCC gasoline: Influence of Mg. Applied Catalysis B: Environmental, v. 223, p. 22– 35, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.07.004.

[4] DE OLIVEIRA, A. A.; DA SILVA, V. L.; DE AGUIAR PONTES, D.; ALMEIDA, D. F.; SILVA, D. S. A.; FERREIRA, J. M. M.; SANTOS, R. C.; URQUIETA-GONZALEZ, E. A.; PONTES,L. A. M. Mesoporous HBeta zeolites application in the desulfurization of 2-methylthiophene. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, n. 0123456789, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11144-020-01921-6.

[5] DOS SANTOS, L. R. M.; DA SILVA, M. A. P.; DE MENEZES, S. C.; CHINELATTO, L. S.; LAM, Y. L. Creation of mesopores and structural re-organization in Beta zeolite during alkaline treatment. Microporous and Mesoporous Materials, v. 226, p. 260–266, 2016.

[6] PASHKOVA, V.; KLEIN, P.; DEDECEK, J.; TOKAROVÁ, V.; WICHTERLOVÁ, B. Incorporation of Al at ZSM-5 hydrothermal synthesis. Tuning of Al pairs in the framework. Microporous and Mesoporous Materials, v. 202, n. C, p. 138–146, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.09.056.

[7] ZHAI, D.; ZHAO, L.; LIU, Y.; XU, J.; SHEN, B.; GAO, J. Dissolution and absorption: A molecular mechanism of mesopore formation in alkaline treatment of zeolite. Chemistry of Materials, v. 27,n. 1, p. 67–74, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1021/cm503151k.

[8] ZHAI, D.; LIU, Y.; ZHENG, H.; ZHAO, L.; GAO, J.; XU, C.; SHEN, B. A first-principles evaluation of the stability, accessibility, and strength of BrØnsted acid sites in zeolites. Journal of Catalysis, v. 352, p. 627–637, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jcat.2017.06.035.

[9] NASSER, G. A.; AHMED, M. H. M.; FIRDAUS,M. A.; SANHOOB, M. A.; BAKARE, I. A.; AL- SHAFEI, E. N.; AL-BAHAR, M. Z.; AL-JISHI, A. N.; YAMANI, Z. H.; CHOI, K.-H.; MURAZA, O. Nano BEA zeolite catalysts for the selective catalytic cracking of n-dodecane to light olefins. RSC Advances, v. 11, n. 14, p. 7904–7912, 2021. Disponível em:

https://doi.org/10.1039/D0RA07899A

[10] VICENTE, J. G. P.; LIMA, P. M.; CARDOSO, D. CATALYTIC PROPERTIES OF NANOMETRIC ZEOLITE X CONTAINING METHYLAMMONIUM CATIONS. Química Nova, v. 39, n. 6, p. 655–660, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160079.

[11] CUMMING, K. A.; WOJCIECHOWSKI, B. W. Hydrogen transfer, coke formation, and catalyst decay and their role in the chain mechanism of catalytic cracking. Catalysis Reviews, v. 38, n. 1,p. 101–157, 1996 Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.01.032.

[12] POTAPENKO, O. V.; DORONIN, V. P.; SOROKINA, T. P.; TALSI, V. P.; LIKHOLOBOV, V. A. Transformations of thiophene compounds under catalytic cracking conditions. Applied Catalysis B: Environmental, v. 117–118, p. 177–184, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.01.014.

[13] JOLY, J. F.; ZANIER-SZYDLOWSKI, N.; COLIN, S.; RAATZ, F.; SAUSSEY, J.; LAVALLEY, J. C. Infrared in situ characterization of HY zeolite acid sites during cyclohexene transformation. Catalysis Today, v. 9, n. 1–2, p. 31–38, 1991. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0920-5861(91)85004-R.

[14] BOITA, T.; MOREAU, M.; RICHARD, F.; PÉROT, G. Transformation of thiophenic compounds over acidic zeolites. Applied Catalysis A: General, v. 305, n. 1, p. 90–101, 2006. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apcata.2006.02.042.

[15] LINDLEY, P. F.; MOSS, D. S. Elements of X-ray crystallography by L. V. Azaroff. Acta Crystallographica Section A, v. 26, n. 6, p. 701– 701, 1970. Disponível em: https://doi.org/10.1107/S0567739470001808.

[16] ZHOU, W.; LIU, M.; ZHANG, Q.; WEI, Q.; DING, S.; ZHOU, Y. Synthesis of NiMo Catalysts Supported on Gallium-Containing Mesoporous Y Zeolites with Different..

[17] Gallium Contents and Their High Activities in the Hydrodesulfurization of 4,6 Dimethyldibenzothiophene. ACS Catalysis, v. 7, n. 11, p. 7665–7679, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acscatal.7b02705.

Capítulo 15

Otimização do processo de produção de biodiesel utilizando óleo de fritura como matéria-prima

Alex Nogueira Brasil
André Nogueira Brasil
Carolina Maria de Lima Alves
Daniel Canabrava Martins
Daniela Vichiato Lima
Davyston Carvalho Pedersoli
Henrique Martins Nogueira
Maria Paula Duarte de Oliveira

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo geral contribuir para o desenvolvimento sustentável do processo de produção de biodiesel pelo desenvolvimento de tecnologias inovadoras, envolvendo: o desenvolvimento de tecnologia para produção de biodiesel utilizando irradiação por ultrassom. Este trabalho propõe ainda a utilização de óleos oriundos de processos de fritura de alimentos, que quando descartados de forma incorreta podem ocasionar sérios problemas ambientais. Os óleos provenientes de fritura de alimentos, por se tratarem de resíduos, apresentam boas características para utilização como matéria-prima alternativa na produção de biodiesel, evitando, assim, que os óleos vegetais considerados *commodities* da indústria alimentícia, tais como óleo de soja e de girassol, sejam usados para este fim. Como diferencial competitivo do projeto desenvolvido, ressalta-se o desenvolvimento próprio das tecnologias utilizadas na concepção da Usina Modular de Produção de Biodiesel, além do conceito de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais, em pequena escala, a um baixo custo, de forma que pequenos produtores possam atender suas necessidades energéticas de forma segura e confiável.

Palavras-Chave: Biodiesel, óleos residuais, usina móvel.

1. INTRODUÇÃO

A fritura é um procedimento muito utilizado na preparação de alimentos e gera um volume significativo de óleos e gorduras cuja destinação, se torna um problema de difícil solução.

Devido à dificuldade de descarte, muitos estabelecimentos comerciais (restaurantes, bares, lanchonetes, pastelarias, hotéis) e residências acabam por descartar estes óleos e gorduras residuais (OGRs) na rede de esgoto. O descarte de maneira incorreta desses OGRs pode acarretar diversos problemas à vida aquática, vez que o óleo, por ser mais leve que a água, se acumula na superfície, criando uma barreira que dificulta a entrada de luz e a oxigenação da água. A formação desta camada de fase oleosa na superfície da água é capaz de comprometer a base da cadeia alimentar aquática bem como processos metabólicos de organismos aquáticos que dependem de níveis adequados de iluminação e oxigenação.

Outros problemas a serem considerados quanto ao descarte incorreto de OGRs em corpos d'água, se relacionam com mau cheiro, entupimento das redes de esgoto, atração de pragas urbanas (ratos, baratas, etc.) que se alimentam deste rejeito e o mau funcionamento das estações de tratamento de água e efluentes. Durante o tratamento desses OGRs são empregados produtos químicos altamente tóxicos, o que acaba criando uma cadeia perniciosa. Além de causar danos irreparáveis ao meio ambiente, constitui uma prática ilegal punível por lei (ALBERICI, 2004).

Frente às necessidades atuais de promover um combustível renovável, que pudesse fomentar o desenvolvimento regional, reduzir as desigualdades sociais, gerar emprego e renda no campo e reduzir a necessidade de divisas para importação de Diesel, o biodiesel passou a exercer um papel importante na matriz energética, deixando de ser apenas um complemento marginal ao Diesel mineral. São necessárias inovações para que alguns paradigmas sejam quebrados, a fim de reduzir o seu custo de produção, empregando-se matéria-prima de alta produtividade que não seja alimento, como por exemplo, os OGRs.

O mercado de biodiesel atual oferece soluções em processamento de óleos vegetais (*in natura*) para produção de biodiesel em grandes escalas, a preços finais superiores a um milhão de reais, o que deixa impraticável a aquisição desses equipamentos pelos pequenos produtores. O mercado brasileiro está carente de tecnologias de produção do biodiesel em pequena escala, que sejam acessíveis e seguras, para queprefeituras, cooperativas e empresas possam atender suas demandas energéticas com fontes limpas.

Neste sentido, o projeto teve como propósito inicial o desenvolvimento de tecnologia própria para produção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixo valor agregado, como os OGRs, em pequena escala, com vistas em se tornar uma alternativa para que empresas, cooperativas, prefeituras, etc. possam suprir suas necessidades energéticas de forma sustentável.

Figura 1. Coleta e armazenamento do óleo residual de cozinha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto teve início em 2009, com a realização de testes em escala laboratorial. No ano seguinte, com o apoio financeiro da Biominas Engenharia de Energias, foi possível lançar o primeiro produto, sendo este uma "Usina de Biodiesel Didática e Simulação Industrial" (depósito de patente sob o nº PI 1002618-5 A2). Esta unidade foi utilizada para simulação dos processos industriais de produção de biodiesel e como ferramenta para transposição de escala. Em 2011, com o desenvolvimento de um reator ultrassônico, foi depositada uma nova patente "Usina para Simulação de Processos Industriais de Produção de Biodiesel por Irradiação por Ultrassom", pedido nº PI 1105959-1. Com a realização dos experimentos e análise das amostras de biodiesel produzidas, em 2012 foi possível desenvolver o projeto de nome: "Usina Móvel de Biodiesel" bem como apresentá-lo na Conferência Rio +20, o que serviu de impulso para que em 2013 surgissem demandas de supermercados e empresas de renome.

Após a participação em vários eventos nacionais e internacionais foi entregue, em 2014, para o Supermercado Verde Mar em Belo Horizonte a primeira Unidade Industrial para Produção de Biodiesel a partir de OGRs oriundos do próprio supermercado. Em 2015 após assinatura de contrato com a FIAT Automóveis e desenvolvimento de duas famílias de catalisadores sólidos reutilizáveis (depósito sob o nº BR 102014004548-1), iniciou-se o projeto para produção dos novos catalisadores BChem em planta industrial.

Em paralelo ao desenvolvimento da tecnologia para produção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixo valor comercial, foi instalado na região da cidade de Itaúna-MG, com vistas no recolhimento e armazenamento de forma correta de OGRs gerados pela população, e a possibilidade de seu aproveitamento para produção de biodiesel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ponto principal de inovação, se relaciona com o conceito de pequenas usinas para a produção de biodiesel em pequena escala a partir de OGRs utilizando reator ultrassônico, catalisador heterogêneo sólido e purificação a seco.

É possível observar que o mercado brasileiro oferece soluções para produção de biodiesel em grande escala a partir de 10.000 litros por dia e preços finais superiores a um milhão de reais, permitindo apenas a utilização de matéria-prima de boa qualidade (óleos vegetais *in natura*) como insumo para produção de biodiesel.

Apresenta-se também o diferencial competitivo do projeto desenvolvido, ressaltando o desenvolvimento próprio das tecnologias utilizadas na concepção da Usina Modular de Produção de Biodiesel, além do conceito de produção de biodiesel a partir de OGRs, em pequena escala, a um baixo custo, de forma que pequenos produtores possam atender suas necessidades energéticas de forma segura e confiável.

Quando avalia-se a aplicação industrial do reator ultrassônico, bem como sua robustez, considera-se como aspecto importante no aumento de escala, a garantia da homogeneidade da atividade de cavitação ultrassônica em todo o volume de trabalho do reator. Os testes preliminares realizados para o desenvolvimente do equipamento de irradiação por ultrassom visavam garantir este aspecto, bem como realizar as adequações necessárias para a sua aplicação em processo de pequena escala de produção de biodiesel em uma Usina Modular.

Os resultados apresentados na Tabela 1 foram obtidos de uma Usina para Produção de Biodiesel a partir de OGRs por Irradiação Ultrassônica, para uma aplicação em pequena escala de produção de biodiesel. A unidade de processamento apresentou-se capaz de atender os limites estabelecidos pela resolução ANP nº 45, de 25/08/2014. A figura 2 apresenta uma foto da usina modular de biodiesel.

Tabela 1. Resultados obtidos na análise da amostra do biodiesel segundo a resolução ANP nº 45.

Parâmetros	Limite	Resultado	Und.	Método
Teor de éster (mín.)	96,5	98,6	%(m/m)	EN 14103
Glicerina livre (máx.)	0,02	<0,01	%(m/m)	NBR 15908
Monoglicerídeos	0,70	0,56	%(m/m)	NBR 15908
Diglicerídeos	0,20	0,07	%(m/m)	NBR 15908
Triglicerídeos	0,20	0,02	%(m/m)	NBR 15908
Glicerina total	0,25	0,16	%(m/m)	NBR 15908

Figura 2. Usina modular para produção de biodiesel.

4. CONCLUSÕES

Intenso trabalho tem sido desenvolvido no mundo para reduzir o custo de produção do biodiesel, e considerando que a matéria-prima representa entre 70 e 80% do custo do biocombustível, o presente trabalho apresenta um desenvolvimento na produção de biodiesel em reatores ultrassônicos diversos através de catálise homogênea e heterogênea. Para tal procedimento foi considerado o inconveniente da imiscibilidade dos reagentes (álcool e óleo), o uso da energia ultrassônica para emulsionar os reagentes de processo de forma a intensificar a reação de transesterificação, com consequente redução da quantidade de catalisador, da razão molar álcool: óleo, do tempo e da temperatura da reação. A energia ultrassônica também negligencia as limitações no uso de certas matérias-primas, apesar de possibilitar a redução do tamanho das plantas industriais, e consequente diminuição dos investimentos. Em todos os campos mencionados, avanços significativos foram feitos, oferecendo subsídios para que o biodiesel produzido a partir de OGRs possa competir com o Diesel de petróleo.

O caráter socioambiental do projeto foi fundamental para o sucesso da iniciativa, ou seja, o projeto visa a destinação de forma ecologicamente correta dos OGRs (poluidor potencial) com propósito de geração de energia limpa.

REFERÊNCIAS

[1] ALBERICI, R. M. Reciclagem de óleo comestível usado através da fabricação de sabão. Revista Oficial do curso de Engenharia Ambiental – CREUPI. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. Espírito Santo do Pinhal, SP, 2004.

[2] ANP, Agência Natural do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 45, de 25/08/2014.

[3] BRASIL, A. N.; OLIVEIRA, G. C. S.; SANTANA, L. F. S.; LARA, G. M. C.; BORGES, S. C. S. Projeto FIAT

[4] – miniusina automática para produção de biodiesel a partir de óleos residuais por irradiação ultrassônica. *6° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel*, Natal, Brasil, 2016, 2 p.

[5] BRASIL, A. N.; NUNES, D. N. *Usina móvel de produção de biodiesel autossustentável e processo móvel de produção de biodiesel*. BR n. PI 0900425-4, 27 de janeiro de 2009.

[6] BRASIL, A. N. *Usina de Biodiesel Didática e Simulação Industrial*. BR n. PI 1002618-5 A2, 16 de abril 2010.
CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids.Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol. 44, 2001, p. 1429-1436.

Capítulo 16

Ciclo de vida de projeto aplicado à realização de serviços de manutenção em uma indústria petroquímica

Allan Deangelle Santos Mota
Fabricio Martins Lacerda
Enise Aragão dos Santos

Resumo: Apesar da aplicação do gerenciamento de projetos ser evidente em alguns setores como o da construção civil, sua aplicação também pode ser benéfica nos mais variados segmentos, como o da gestão da manutenção de plantas industriais. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar as fases do ciclo de vida de projetos aplicadas na realização de serviços de manutenção, em uma indústria petroquímica. Foi realizada uma pesquisa qualitativa descritiva a partir de um estudo de caso, que analisou os processos de serviços de manutenção, tendo como base o ciclo de vida de projetos. Como resultados, verificou-se que as atividades previstas para os serviços de manutenção contemplam as quatro fases estabelecidas para controle e análise do ciclo de vida do projeto, sendo elas a de início do projeto, organização e preparação, execução do trabalho, e a fase de conclusão. Os resultados obtidos ainda possibilitou a conclusão de que é possível realizar o mapeamento das diversas atividades programadas nos serviços de manutenção como parte do ciclo de vida do projeto. Diante dos resultados, outras áreas de conhecimento de gestão de projetos poderão ser analisadas em estudos futuros, a exemplo da integração, qualidade e comunicação.

Palavras-chave: Ciclo de Vida de Projetos; Gestão da Manutenção; Indústria Petroquímica. *Project management*.

1. INTRODUÇÃO

Um projeto pode ser considerado como qualquer série de atividades e tarefas que possua um objetivo específico, tenha início e fim definidos, possua recursos financeiros limitados, dependa de recursos humanos e não humanos e seja multifuncional (KERZNER, 2017). Determinados elementos que compõe a entrega ou as atividades do projeto podem se repetir em outros projetos. Apesar disso, é considerado projeto quando existe características fundamentais e exclusivas, tais como pessoas envolvidas, prazos, objetivos e métodos (PMI, 2017). A gestão de projetos pode ser aplicada nos mais diversos tipos de organizações, facilitando o controle e promovendo uma visão clara dos propósitos, objetivos e metas (SELLA, 2011).

Todo projeto possuí um ciclo de vida que pode ser mapeado em quatro fases genéricas, sendo elas (PMI, 2017): Início do projeto; Organização e preparação; Execução do trabalho e Conclusão do processo. A divisão clara do projeto em fases permitirá aos gestores um melhor controle dos recursos para atingir os objetivos do projeto (KERZNER, 2017) e servirá de base para o gerenciamento do projeto (PMI, 2017).

Apesar de aplicação do gerenciamento de projetos ser evidente em alguns setores como o de construção civil, sua aplicação pode ser benéfica nos mais variados segmentos, como o da gestão da manutenção de plantas industriais (SMITH, 1992). O gerente de manutenção tem por objetivo atingir as metas ou iniciativas corporativas com um orçamento apertado sem comprometer os padrões de qualidade e confiabilidade. Para isso, é necessário planejamento constante de todos os níveis da manutenção (SMITH, 1992). As atividades de manutenção têm por objetivo prevenir ou corrigir eventuais anomalias ou falhas nos equipamentos e melhorar as condições originais dos equipamentos ou da planta. As atividades de melhoria podem ser motivadas por diversos requisitos como a necessidade de adequação por motivos legais, como por exemplo para se enquadrar nas normas de segurança do trabalho, possibilidade de aumento de eficiência produtiva, entre outros fatores. (XENOS, 2004).

O plano de trabalho da manutenção ao longo do ano pode ser interpretado como uma sequência de pequenos projetos individuais ou uma combinação de alguns grandes projetos programados em torno de projetos menores e mais flexíveis (SMITH, 1992). É preciso levar em conta que esse plano de trabalho é dinâmico e se altera conforme o surgimento da necessidade de novas atividades de manutenção. Toda nova atividade de manutenção concorre com todas as outras por recursos e prazos, sendo necessário que o plano de trabalho seja constantemente reavaliado, definido e planejado quando cada atividade será realizada, conforme critérios de priorização.

As atividades de manutenção, que podem ser consideradas como projetos de manutenção, precisam ser documentadas tão detalhadamente quanto possível, independentemente da dimensão do projeto, através de um sistema de gestão dos dados da manutenção (SMITH, 1992). Levando em consideração a possibilidade de aplicação do gerenciamento de projetos no processo de planejamento e controle da manutenção, este trabalho tem por objetivo analisar as fases do ciclo de vida de projetos aplicadas na realização de serviços de manutenção em uma indústria petroquímica.

Este artigo está organizado em 5 seções, incluindo esta introdução. A segunda seção apresenta uma breve fundamentação teórica. Em seguida, os procedimentos metodológicos são explicados. Na quarta seção, a análise dos resultados é apresentada. Finalmente, a quinta seção traz as considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os avanços tecnológicos, a socialização da internet, que aumentam ainda mais a globalização dos mercados, cada vez mais competitivos, determinam uma postura diferente das organizações frente à concorrência. Produzir, oferecer serviço de qualidade e ser eficiente, não é mais visto pelo consumidor como um diferencial competitivo. As organizações precisam investir em tecnologias, variedades de produtos e utilizar o planejamento estratégico para manterem-se vivas. As atividades de projetos podem ser aplicadas nessas iniciativas contribuindo para o fortalecimento organizacional, levando a empresa para um diferencial competitivo (SHENHAR; DVIR, 2010).

Kerzner (2011) define a gestão de projetos como uma gestão sistêmica aplicada, e considera o Guia *Project Management Body of Knowledge* (PMBoK®), desenvolvido pelo *Project Management Institute* (PMI), o modelo que pode ser utilizado para uma integração de sistemas bem-sucedidos. Assim como qualquer outra disciplina ou profissão, a gestão de projetos incluem regras, procedimentos e ferramentas usadas por todos os praticantes ao redor do mundo. Do mesmo modo, as associações profissionais foram formadas para disseminar e compartilhar o conhecimento e a experiência da profissão (SHENHAR; DVIR,

2010).

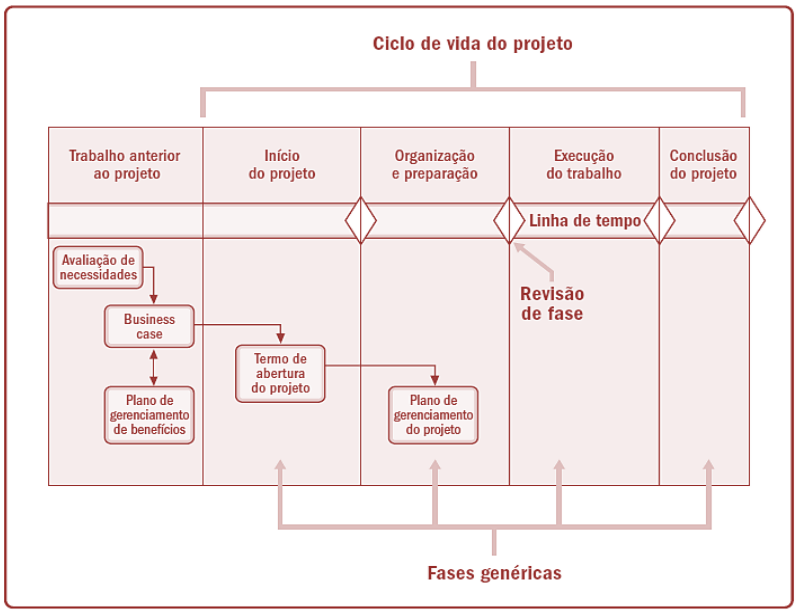
O gerenciamento de projeto é a aplicação dos conhecimentos, habilidades e ferramentas importantes para alcançar os objetivos do projeto. O Project Management Body of Knowledge (PMBoK®) identifica as melhores práticas de gerenciamento de projetos e os organiza de forma estruturada categorizando em grupos de processos. Como cada projeto é único, com objetivos e restrições especificas, as práticas e conhecimentos aplicadas em cada projeto mudam de projeto para projeto (KERZNER, 2017). Através dos conhecimentos e práticas apresentadas no PMBoK®, cada organização criará suas próprias metodologias, políticas, procedimentos e ferramentas para a aplicação do gerenciamento de projetos (PMI, 2017).

Projetos variam de tamanho e complexidade, mas todos os projetos podem ser mapeados para a estrutura de ciclo de vida dividido em: início do projeto; organização e preparação; execução do trabalho do projeto; e encerramento do projeto (PMI, 2017). É importante salientar que a compreensão do ciclo de vida permite a visualização de forma sistêmica do projeto, a partir de seu início até a conclusão, o que facilita o estudo e a aplicação das técnicas de administração de projetos (MAXIMIANO et al., 2011). Também é possível afirmar que a metodologia de gestão de projetos da organização pode melhorar o processo de planejamento do projeto, bem como fornecer algum grau de padronização e consistência.

Segundo Kerzner (2011), não existiria um consenso relacionado às fases do ciclo de vida de um projeto, devido à complexidade e à diversidade dos projetos, contudo, empresas cada vez mais vêm desenvolvendo manuais de procedimentos com foco no gerenciamento de projetos e na melhor estrutura de trabalho com base nas fases do ciclo de vida. Esses manuais vão ao encontro das metodologias de gerenciamento de projetos, que são os processos repetitivos utilizados em cada um dos projetos.

A Figura 1 apresenta a estrutura genérica de ciclo de vida do projeto.

Figura 1 – Fases do ciclo de vida do projeto



Fonte: PMI (2017)

Diante desse contexto, cabe salientar que a realização de atividades de manutenção exige organização, planejamento, programação, alocação de recursos físicos e financeiros, treinamento e qualidade (BRANCO FILHO, 2008). Para a execução dessas atividades, vários aspectos devem ser definidos durante o planejamento da intervenção, tais como: a liberação e condicionamento do equipamento para intervenção, contratação de empresas, compra de materiais, segurança das pessoas e da planta industrial, utilização de máquinas e ferramentas de apoio (CALLIGARO, 2003).

Qualquer que seja o plano de trabalho, a sua realização depende da capacidade do gerente de manutenção de gerenciá-lo. Para isso, é preciso que seja definido e detalhado o escopo para cada projeto, estimando custos de material e mão de obra e identificado todos os requisitos de suporte para conclusão do projeto (SMITH, 1992). Tal necessidade é evidenciada ao se verificar que os trabalhos da manutenção possuem

natureza não-repetitiva, caracterizados por uma rotina que incluem um conjunto variado e complexo de atividades, atuando em uma grande quantidade de equipamentos de diversos modelos e tipos e sendo realizada por profissionais e equipes especializadas ou multifuncionais (CALLIGARO, 2003).

O apoio ao gerenciamento de projetos e a demonstração de confiança na metodologia fazendo parte da cultura organizacional, poderá levar a organização a alcançar a excelência em gerenciamento de projetos (KERZNER, 2011, 2017).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir o objetivo proposto neste estudo, foi realizada uma pesquisa qualitativa e descritiva a partir de um estudo de caso, de acordo as ideias de Yin (2001), no qual relaciona esse tipo de estudo à investigação de um fenômeno da vida real dentro de seu contexto. O estudo de caso possibilita a exploração de problemas mais complexos com a utilização de hipóteses e aplicação de conhecimentos práticos para análise e solução do problema proposto (YIN, 2001).

Este estudo de caso foi realizado no setor de planejamento de serviços de manutenção de unidade industrial de tratamento de gás natural, instalada na região sudeste, composta por 4 plantas de processamento de gás natural com capacidade total de processamento de cerca de 20.000.000 m^3 de gás por dia, com um contingente médio de 500 trabalhadores, entre funcionários próprios e prestadores de serviço.

Na primeira etapa do trabalho, foi realizado o mapeamento as fases do ciclo de vida, bem como os processos relacionados aos serviços de manutenção da indústria petroquímica objeto deste estudo. Diante disso, conseguiu-se uma visualização estruturada das fases, processos, pessoas envolvidas e fluxo de documentos, contribuindo de forma natural e espontânea para a coleta dos dados (YIN, 2001). Também, foram consultados os padrões e procedimentos da empresa e realizadas reuniões de revisão do mapeamento com participação colaborativa da maioria dos envolvidos no ciclo de vida dos serviços de manutenção (YIN, 2001).

O processo de coleta de dados também contou com observação e participação de um dos autores deste estudo (YIN, 2001), que trabalha na empresa há 10 anos envolvido diretamente nos processos de liberação e execução de atividades de manutenção. Também atuou durante seis meses no setor de planejamento, quando ficou responsável por avaliar formas de melhoria do processo de planejamento, com o incentivo dos gestores e líderes da empresa, em especial da equipe de manutenção e operação. Deste modo, contando com múltiplas fontes de evidências, o que é fundamental para garantir a qualidade dos resultados obtidos (GIL,2002).

Na etapa de análise, os dados coletados foram examinados, categorizados e classificados adotando-se a estratégia geral de descrição do caso para se desenvolver uma estrutura descritiva afim de organizar o estudo de caso (YIN, 2001), Em seguida, foram selecionados as evidências relevantes para a análise levando em conta o objetivo deste estudo (YIN, 2001). Finalmente, foi adotado a técnica de análise de adequação ao padrão, levando em conta o objetivo de analisar os processos de serviços de manutenção, tendo como base o ciclo de vida de projetos (YIN, 2001).

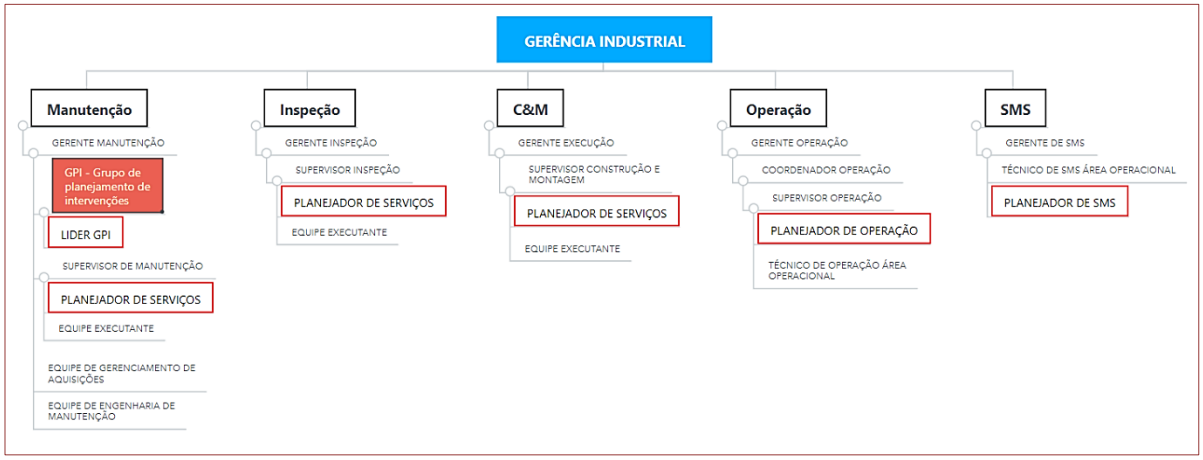
4. RESULTADOS

O setor de planejamento da indústria petroquímica estudada, que é denominado pela sigla GPI (Grupo de Planejamento de Intervenções), é formado por um grupo multidisciplinar responsável pelo processamento, planejamento, programação, acompanhamento da execução de intervenções e encerramento das notas e ordens de manutenção. Nesse contexto, entende-se como intervenção qualquer serviço de manutenção.

O GPI está alocado na gerência de manutenção, conforme organograma apresentado na Figura 2. No entanto, ele é composto por uma equipe multidisciplinar com representantes de todas as gerências.

As intervenções planejadas no GPI, englobam tanto as atividades de manutenção da própria gerência de manutenção como também as atividades de manutenção da gerência de inspeção de equipamentos, responsável por verificar a integridade dos equipamentos e instalação da planta industrial e as atividades da equipe de construção e montagem (C&M) que é responsável pelas atividades de melhoria e reparos estruturais.

Figura 2 – Organograma simplificado das partes interessadas



Fonte: Dados originais da pesquisa

O GPI conta com representantes de todas as gerencias, promovendo um fluxo de trabalho horizontal, sem deixar de lado os fluxos de verticais, permitindo que os processos ocorram de forma mais rápida e eficiente, tal como no gerenciamento de projetos (KERZNER, 2017). Os principais integrantes do GPI são:

a) Líder GPI: responsável por monitorar e controlar o bom funcionamento dos fluxos dos processos do GPI, gerenciando as interfaces entre as fases da intervenção;

b) Planejador de serviços: responsável por planejar o escopo, custos e prazos da intervenção, detalhar a sequência de tarefas e planejar e solicitar os recursos necessários. Além disso, o planejador será responsável por programar, monitorar e controlar a execução das tarefas até seu encerramento;

c) Planejador de operação: responsável por conduzir a etapa de análise e gestão de riscos da atividade e garantir a elaboração dos documentos desta etapa;

d) Planejador de SMS: responsável por apoiar e participar do processo de análise e gestão de riscos das atividades com foco na segurança ocupacional, meio ambiente e saúde.

Também participam do processo de planejamento gestores e supervisores das gerencias envolvidas em cada intervenção, geralmente com a função de avaliação e aprovação do planejamento, além de equipes dedicadas para atividades de apoio, tal como a de aquisição de materiais e a de engenharia de manutenção. Todo o processo de planejamento de manutenção é feito através do módulo de manutenção do software de gestão empresarial SAP R/3. No módulo SAP PM (*Plant Maintenance*) são planejados, executados e controlados, todas os aspectos relacionados as intervenções de manutenção, além de controlado o histórico de manutenções, falhas e defeitos de cada equipamento (LIEBSTÜCKEEL, 2017).

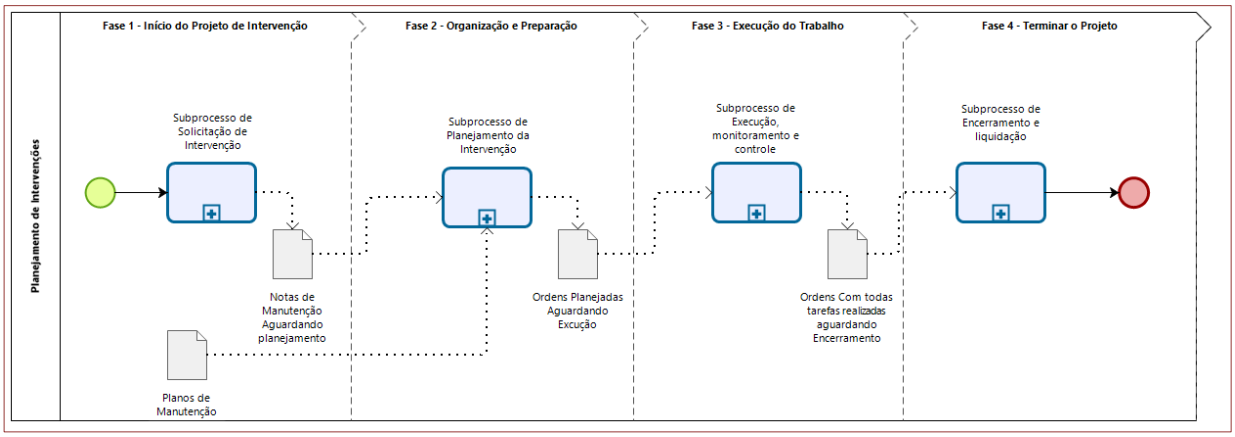
Dentro do SAP PM existe dois documentos principais que acompanharão todo o processo de planejamento e execução das intervenções: a nota de manutenção e a ordem de manutenção. A nota de manutenção tem por finalidade solicitar um serviço de manutenção. Os principais tipos de notas são: nota para correção de falha/defeito, nota para solicitação de inspeção, nota para solicitação de serviços de apoio, nota para solicitação de estudo técnico e notas de recomendação de tratamento estrutural, emitidas pela inspeção (LIEBSTÜCKEEL, 2017).

A ordem de manutenção tem por finalidade planejar o serviço de manutenção visando atender uma solicitação que pode vir de uma nota de manutenção ou de um plano de manutenção. Na ordem será planejado, controlado e documentado todas as etapas do ciclo de vida do serviço de manutenção. Um plano de manutenção planeja e programa intervenções com frequências pré-definidas e com tarefas padronizadas para cada equipamento com o objetivo de prevenir defeitos e falhas. Na indústria estudada, esse plano é controlado pelo módulo SAP PM conforme estratégias definidas pela equipe de engenharia de manutenção (LIEBSTÜCKEEL, 2017).

4.1. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PROJETO

Considerando as fases genéricas do projeto, foi realizado o mapeamento dos processos contidos no ciclo de vida de serviços de manutenção na indústria petroquímica estudada (Figura 3), dividindo os processos nas quatro fases genéricas do ciclo de vida do projeto propostas pelo PMBoK® (PMI, 2017).

Figura 3 – Ciclo de vida dos serviços de manutenção



Fonte: Dados originais da pesquisa

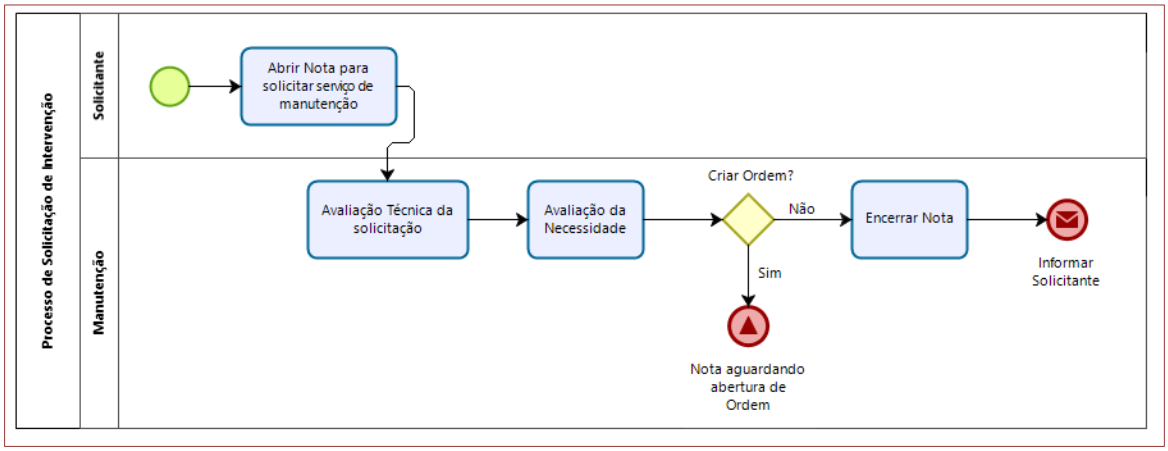
As próximas seções apresentam os resultados das 4 fases do ciclo de vida do projeto.

4.1.1. FASE 1 – INÍCIO DO PROJETO DE INTERVENÇÃO

Na fase de início de projeto são definidas as informações de alto nível do projeto, tal como a finalidade, objetivos e seus benefícios. É importante que ocorra uma análise preliminar dos riscos envolvidos juntamente com o impacto potencial da execução e da não execução do projeto para a empresa. Por fim, nessa fase é feito a primeira avaliação de viabilidade do projeto (KERZNER, 2017).

A partir do mapeamento realizado, o processo começa no subprocesso de solicitação de intervenção, conforme Figura 4. Esse processo tem como objetivo elaborar a nota de manutenção. Nela será descrito todos dados fundamentais para seu tratamento, tal como objetivo da solicitação, local, equipamento e urgência. A nota de manutenção é um documento que será desenvolvido envolvendo o solicitante da nota, representante da manutenção e representante da operação.

Figura 4 – Processo de Solicitação de Intervenção



Fonte: Dados originais da pesquisa

A nota é elaborada da seguinte forma: a) Inicialmente o solicitante, a partir do surgimento de uma necessidade de intervenção, criará a nota de manutenção no SAP PM, descrevendo detalhadamente qual

será o objetivo da intervenção, local, equipamento e urgência; b) Depois de criada, a nota de manutenção será analisada por um especialista de manutenção que verificará a solicitação e dará seu parecer técnico quanto sua necessidade e quanto ao escopo do que precisa ser feito; c) Em seguida, o supervisor de manutenção, levando em conta a opinião especializada, avaliará, em conjunto com um representante da operação, se realmente existe a necessidade intervenção, autorizando ou não a abertura da ordem de manutenção, que sinalizará o início do processo de planejamento da intervenção.

A nota de manutenção pode ser considerada como o termo de abertura do projeto, que é o documento que formalmente autoriza a existência de um projeto, define a finalidade da intervenção, fornece a descrição de alto nível do que será feito no projeto, lista as partes interessadas chaves (PMI, 2017). O termo de abertura tem o objetivo de garantir o alinhamento do entendimento entre as partes interessadas e marcos mais importantes, e dos papeis e responsabilidades de todos os envolvidos no projeto (PMI, 2017).

Apesar disso, ao analisar notas de manutenção elaboradas na indústria petroquímica estudada, foi verificado que nem sempre é feito uma descrição clara da finalidade da solicitação, do equipamento ou sistema que se deseja a intervenção. É importante que seja documentado todas as informações de alto nível sobre o projeto e sobre o resultado que o projeto deve satisfazer (PMI, 2017). Dessa forma, é fundamental que informações como: objetivos, benefícios esperados, prazos, partes interessadas, escopo de alto nível do que será executado e qualquer outra informação relevante para o devido entendimento do serviço a ser planejado e executado esteja descrito na nota de manutenção.

A avaliação realizada pelo supervisor de manutenção no final da fase funciona como a primeira revisão de fase, em que será avaliado o escopo do serviço a ser realizado e a viabilidade de alocação de recursos (KERZNER, 2017).

Porém, ao se analisar notas de manutenção que aprovadas e seguiram para a próxima fase, foram encontrados serviços de baixíssima prioridade, consideradas irrelevantes pelos próprios supervisores de manutenção, concorrendo recursos com atividades de grande importância, evidenciando a necessidade de uma avaliação capaz de garantir que os serviços autorizados estejam de acordo com os objetivos estratégicos da organização (PMI, 2017).

4.1.2. FASE 2 – ORGANIZAÇÃO E PREPARAÇÃO

Nessa etapa é feita o refinamento dos elementos que foram definidos na fase inicial e requer uma identificação detalhada dos recursos necessários e o estabelecimento de parâmetros realistas de tempo, custo e desempenho. Esta fase também elaborará a documentação que dará suporte a fase de execução. Essa fase termina com uma revisão de fase, onde haverá a oportunidade de revalidar o projeto, autorizando ou não que se siga para próxima fase (KERZNER, 2017).

Seguindo o mapeamento, após aprovação da solicitação, se dá início ao processo de planejamento da intervenção, conforme Figura 5, quando é criado o documento denominado ordem de manutenção. A ordem de manutenção conterá todo o detalhamento do escopo, tempo e custo relativos ao planejamento da intervenção.

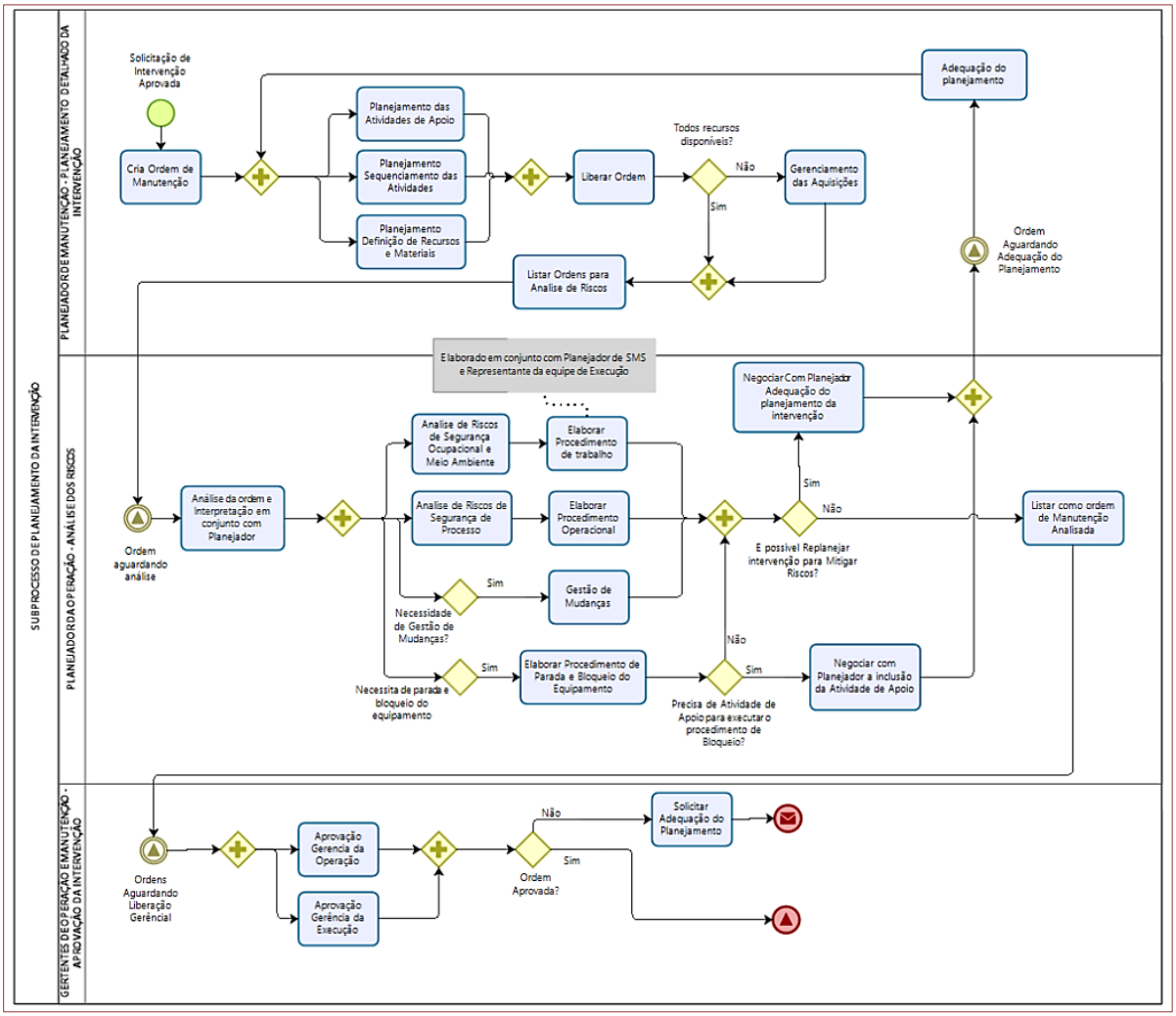
Esse processo pode ser subdivido em três etapas: planejamento da intervenção, análise dos riscos e aprovação da intervenção. Na primeira etapa, ao se criar a ordem, é definido o escopo da intervenção. A partir do escopo é desenvolvido o detalhamento das atividades, planejado os recursos e materiais necessários e definido o sequenciamento e prazo de execução. Após o planejamento detalhado, a ordem de manutenção precisa ser liberada pelo supervisor da manutenção. Caso seja necessário a aquisição de algum recurso ou material, será enviada solicitação ao setor de aquisições que fará o planejamento das aquisições e retornará com os prazos planejados para chegada dos recursos e materiais.

O planejamento dos recursos e do tempo necessário para cada atividade é realizado com a ajuda da opinião especializada de técnicos de manutenção e a partir da consulta do tempo e recursos gastos em ordens com atividades semelhantes que já foram concluídas. Também, é utilizado o método do caminho crítico para determinar as dependências entre as atividades planejadas dentro da ordem de manutenção, evidenciando as atividades que mais impactam no tempo total do serviço.

Na próxima etapa é realizado o plano de gerenciamento de riscos da intervenção. Nessa etapa, um grupo multidisciplinar composto principalmente por representantes das equipes de manutenção, operação e segurança do trabalho, faz a análise dos riscos relacionados à execução da intervenção, visando a segurança ocupacional do executante, a segurança da planta operacional e a continuidade operacional. Caso seja verificado a possibilidade de adequação do planejamento para reduzir os riscos da intervenção,

é solicitado o replanejamento da atividade. Para os riscos que não puderem ser mitigados através do replanejamento da intervenção são elaborados procedimentos de execução da intervenção e liberação operacional contemplando medidas de mitigação dos riscos. Ainda nessa etapa, será avaliado se a intervenção provocará alguma mudança nos equipamentos. Caso seja uma mudança, será dado início ao processo de gestão de mudança onde serão avaliados os possíveis riscos relacionados a mudança e definido as ações para mitigar esses riscos. Finalmente, o planejador de operação é responsável por anexar os documentos de análise e gerenciamento de riscos à ordem de manutenção além de responsável por sinalizar na ordem o fim da etapa.

Figura 5 – Processo de planejamento da intervenção



Fonte: Dados originais da pesquisa

Após a etapa de gestão de riscos, a ordem de manutenção será enviada para aprovação da gerência da operação e da gerência da manutenção. Essa etapa tem por objetivo avaliar e aprovar todo o planejamento da intervenção, em especial o escopo, custo, tempo e gestão dos riscos. Analisando essa fase é possível verificar que a ordem de manutenção funciona como o plano de gerenciamento de projeto, que define a base de todo o trabalho do projeto e como o trabalho será realizado. Consolidando todo o planejamento, linhas de bases e quaisquer outras informações necessárias para o gerenciamento da intervenção (PMI,2017).

Ao analisar as ordens de manutenção nessa fase, foi constatado que de fato esse documento consolida todas as saídas da fase de organização e planejamento. Porém, foi observado que existe dificuldade de comunicação nas interfaces das etapas do processo devido a divergências entre o entendimento do

planejador de serviços e do planejador da operação das informações que devem estar contidas no detalhamento do escopo do serviço.

É importante que cada documento do projeto esteja de acordo com a necessidade das suas partes interessadas, garantido a qualidade da comunicação (PMI, 2017). É importante que o líder GPI, que é responsável pela integração entre as interfaces do ciclo de vida da intervenção, atue de forma a alinhar os objetivos das partes interessadas através da facilitação e gerenciamento de conflitos (PMI, 2017). A aplicação da Matriz de Engajamento das Partes Interessadas pode ajudar a identificar ações que ajudem no engajamento dos participantes do processo de planejamento (MEDEIROS, 2017).

Por fim, essa fase é finalizada através da aprovação formal dos gerentes de operação e manutenção, o que pode ser considerado como a revisão de fase, tem como entregável a ordem de manutenção com todas as informações necessárias para a execução do serviço de manutenção.

4.1.3. FASE 3 - EXECUÇÃO DO TRABALHO

Nessa fase se dá início a execução das atividades planejadas na fase anterior, conforme os requisitos panejados. Em paralelo com a execução, é realizado o monitoramento e controle do projeto, através de medidas de tempo, custo e especificação, comparando o que foi planejado com o que está sendo executado (LARSON, 2018).

Após aprovação, a ordem de manutenção pode ser programada para execução e assim é dado início ao processo de execução, monitoramento e controle, conforme Figura 6. O processo de execução, monitoramento e controle pode ser dividido em três etapas: programação semanal, programação diária, execução e controle.

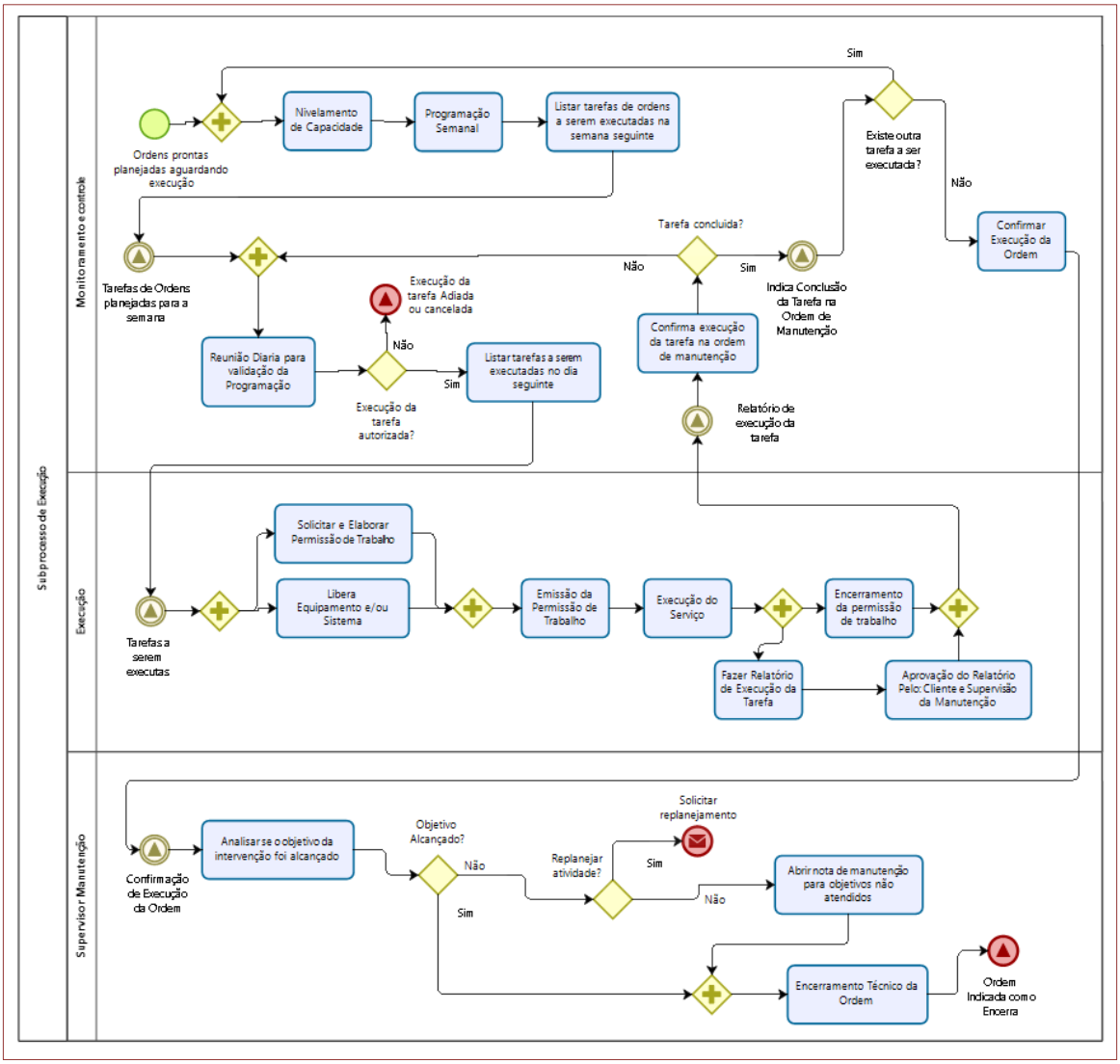
Essa fase começa com o nivelamento de capacidades, onde será apresentado uma proposta de programação para a semana seguinte. O nivelamento de capacidade é feito pelo sistema de gestão de manutenção. Ele usa como entradas: a mão de obra disponível, medida em HH (hora homem), para cada especialidade de manutenção; a prioridade e prazos das ordens de manutenção; o sequenciamento lógico das atividades/tarefas e a mão de obra necessária em HH para execução de cada atividade/tarefa.

O sistema de gestão de manutenção processa todos esses dados e gera uma sugestão de programação para semana seguinte que conterá todas as atividades/tarefas elencadas para execução naquela semana. Em seguida é realizada a reunião com representantes da manutenção e operação para fechamento da programação semanal. Nessa reunião é avaliado a sugestão de programação semanal e feitos os ajustes necessários, podendo retirar e incluir atividades/tarefas de intervenções que não foram devidamente programadas.

Na etapa de programação diária, todos os dias é realizada uma reunião formada por representantes da operação, manutenção e segurança do trabalho afim de revisar, adequar e aprovar as atividades/tarefas planejadas para o dia seguinte. Desta reunião é fechado uma listagem de todas as atividades que serão executadas. A partir desta lista, ainda no dia anterior, é feita a elaborarão e impressão dos documentos de permissão de trabalho.

A permissão de trabalho é o documento que além de confirmar que todo o processo de planejamento foi devidamente realizado, traz em seu escopo todas a recomendações e verificações para realização da atividade de forma segura definidas em procedimentos de execução da empresa somado com a verificação do cumprimento das medidas de mitigação de riscos definidas durante a etapa de gestão de riscos do processo de planejamento de intervenções. Esse documento irá autorizar a execução da atividade no equipamento. Além da elaboração da permissão de trabalho, a operação fica responsável pela liberação dos equipamentos para intervenção.

Figura 6 – Processo de Execução, monitoramento e controle



Fonte: Dados originais da pesquisa

No dia da execução do trabalho, com a permissão de trabalho em mãos e o detalhamento da atividade/tarefa planejada na ordem de manutenção, o representante da operação responsável pelo equipamento em conjunto com os executantes e de um técnico de segurança do trabalho fazem a liberação do trabalho, verificando, através de listas de verificação anexadas à permissão de trabalho, se todas as medidas de segurança estão sendo cumpridas. Finalizada a verificação, todos os envolvidos assinam o documento e é dado início a execução da atividade/tarefa.

Com a finalização da execução do trabalho, é solicitado o encerramento da permissão de trabalho e é preenchido o relatório de execução da atividade, que precisa ser assinado pela operação e pelo supervisor técnico da manutenção. Caso a atividade/tarefa tenha sido concluída, é feito o apontamento da conclusão da atividade/tarefa no sistema de gestão de manutenção. Caso a atividade/tarefa ainda não tenha sido concluída e precise continuar no dia seguinte, a atividade volta para etapa da programação diária refazendo o ciclo de aprovação, elaboração e liberação da permissão de trabalho.

Após a programação e execução de todas as tarefas previstas no escopo da ordem de manutenção é iniciado o processo de encerramento, conforme Figura 6. Nesse processo, o supervisor técnico da manutenção avalia se os objetivos da intervenção foram alcançados conforme escopo definido na primeira fase. Caso positivo, é feito o encerramento técnico da ordem de manutenção, marcando a finalização da fase de execução.

Se os objetivos não tenham sido cumpridos, o supervisor deverá avaliar a viabilidade de enviar a ordem de

volta para o processo de planejamento de intervenção afim de reavaliar a estratégia de manutenção. Outra possibilidade, em caso de não cumprimento parcial dos objetivos, é a abertura de uma nova nota de manutenção solicitando o cumprimento específico dos objetivos pendentes. Nesse caso, deve ser informado na ordem de manutenção quais objetivos não foram concluídos, referenciado a nota de manutenção aberta para tratar os objetivos pendentes, podendo assim, encerrar tecnicamente a ordem de manutenção.

Ao se analisar na prática o decorrer do processo, foi verificado que em muitos serviços as partes interessadas não possuem informações claras das tarefas já realizadas e das tarefas a serem realizadas, em alguns casos o equipamento que foi liberado pela operação para a realização do serviço continuou parado e indisponível por dias ou semanas após a conclusão de todas as tarefas previstas. Em outros casos, ocorreu a volta do equipamento em operação antes de concluir todas as tarefas. É importante que monitoramento e controle da execução do serviço de manutenção mantenha as partes interessadas alinhadas quanto a situação atual do projeto, estejam cientes das ações adotadas para lidar com quaisquer problemas no decorrer da execução (PMI, 2017).

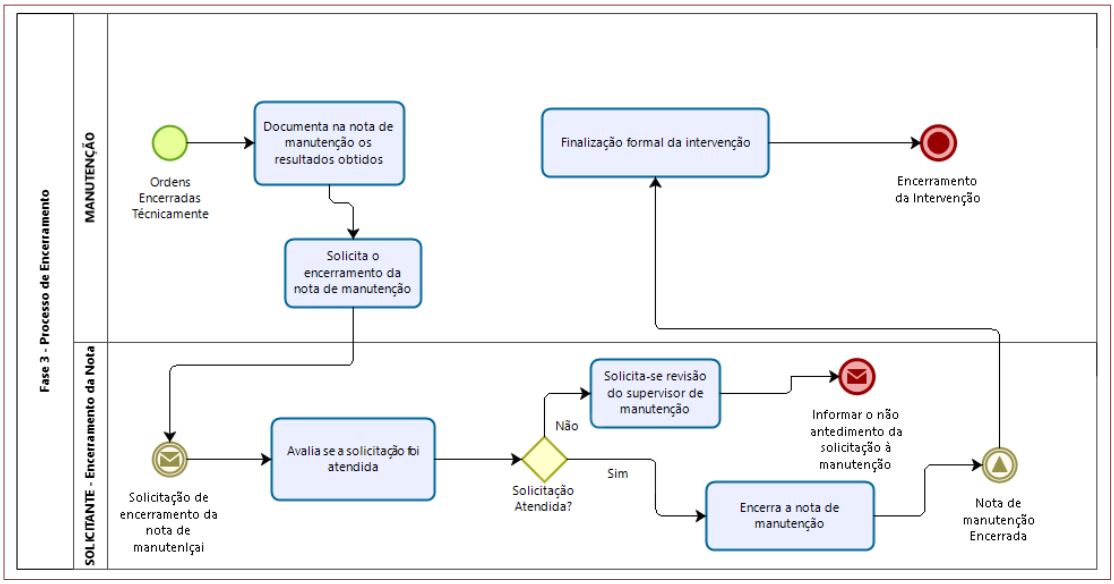
4.1.4. FASE 4 – CONCLUSÃO DO PROJETO

Na fase de encerramento o projeto será formalmente encerrado (Dinsmore, 2011) com a entrega do produto do projeto ao cliente, reimplantação dos recursos do projeto e revisão pós-projeto (LARSON, 2018). Após o encerramento técnico da ordem de manutenção, dará início ao processo de encerramento (Figura 7), onde será documentado na nota de manutenção os resultados obtidos e será informado ao solicitante a conclusão da ordem solicitando o encerramento da nota de manutenção.

Em seguida, o solicitante irá avaliar se os objetivos foram alcançados. Caso positivo, ele fará o encerramento da nota de manutenção. Caso contrário, informará na nota o não cumprimento dos objetivos e informará a manutenção. Em caso de finalização da nota, é feito a finalização formal da intervenção. Caso contrário, a manutenção analisará quais objetivos não foram alcançados em conjunto com solicitante e avaliando quais providencias serão tomadas.

Através da análise do mapeamento das fases do ciclo de vida de serviços de manutenção da indústria petroquímica estudada é possível admitir que existem semelhanças com o ciclo de vida de um projeto, contendo fatores importantes como: fases claras com entregáveis definidos e com revisões de fase (PMI,2017).

Figura 7 – Processo de encerramento



Fonte: Dados originais da pesquisa

Finalmente, a divisão do ciclo de vida de serviços de manutenção possibilitou uma visão mais clara dos

pontos chaves para o gerenciamento do projeto permitindo oportunidade para avaliar o desempenho dos processos gerenciados pelo grupo de planejamento de intervenções (PMI,2017).

A gestão de projetos demanda a elaboração de documentos importantes durante o ciclo de vida do projeto (MEDEIROS, 2017). No caso estudado, os documentos já elaborados ao longo do ciclo de vida de um serviço de manutenção se comportam de forma semelhante aos documentos que precisam ser elaborados ao longo do ciclo de vida de um projeto, sendo eles: Nota de Manutenção correspondente ao Termo de Abertura, que conterá os dados de alto nível do projeto e a autorização formal para que seja planejado; Ordem de Manutenção correspondente ao Plano de Gerenciamento do Projeto, contendo todos os dados de planejamento do serviço de manutenção; a Ordem de Manutenção também fará o papel de Relatório executivo do Projeto, controlando a execução de cada atividade prevista no escopo do projeto; e por fim, a Nota de Manutenção será usada também como Termo de Encerramento de Projeto, recebendo as informações de entregas concluídas, avaliação das entregas pelo cliente e finalização formal do serviço. Dessa forma, não há aumento da burocracia ao encarar o serviço de manutenção como um projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados, concluiu-se que é possível realizar o mapeamento do ciclo de vida de um serviço de manutenção da indústria petroquímica, considerando as fases, revisões de fase e entregáveis definidos. A realização de serviços de manutenção exige organização, planejamento, programação, alocação de recursos físicos e financeiros, treinamento e qualidade podendo ser observado como um projeto com um ciclo de vida, permitindo que sejam mapeados em quatro fases genéricas para o início do projeto, a organização e preparação, a execução do trabalho e, por fim, a conclusão do projeto.

Como resultados, verificou-se que o ciclo de vida do projeto de serviços de manutenção contempla as quatro fases previstas, sendo elas: 1) Fase de início do projeto, quando ocorre a abertura, elaboração e aprovação da nota de manutenção que conterá as informações de alto nível do serviço de manutenção, tal como a finalidade, objetivos e seus benefícios; 2) Fase de organização e preparação, quando ocorre a abertura e elaboração da ordem de manutenção que é o documento que consolidará todo o planejamento, linhas de bases e quaisquer outras informações necessárias para o gerenciamento da intervenção; 3) Fase de execução do trabalho, quando se dá início a execução das atividades planejadas na fase anterior, usando como referência a ordem de manutenção. Em paralelo, é realizado o monitoramento e controle do serviço de manutenção, através de medidas de tempo, custo e especificação, comparando o que foi planejado com o que está sendo executado e documentando na ordem de manutenção. Após conclusão dos trabalhos é feita avaliação de atendimento aos objetivos da ordem de manutenção; 4) Fase de conclusão, quando o serviço de manutenção será formalmente encerrado após avaliação e encerramento da nota de manutenção pelo solicitante.

Por fim, este estudo tem limitação ao se dispor à análise apenas do ciclo de vida do projeto. No entanto, estudos futuros poderão analisar o mesmo cenário do ponto de vista de áreas de conhecimentos específicas do gerenciamento de projetos, como o gerenciamento da qualidade, gerenciamento da integração e o gerenciamento da comunicação.

REFERÊNCIAS

[1] CALLIGARO, Cleber. Proposta de fundamentos habilitadores para a gestão da manutenção em indústrias de processamento contínuo baseada nos princípios da manutenção de classe mundial. 2003.

[2] DINSMORE, Paul C.; CABANIS-BREWIN, Jeannette (Ed.). The AMA handbook of project management. 3. ed., Amacom Books, New York, 2011.

[3] GIL, Antonio Carlos et al. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

[4] KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção Função Estratégica, Qualitymark Editora ltda. Rio de Janeiro, 2001.

[5] KERZNER, H. Gerenciamento de Projetos: uma abordagem sistêmica para planejamento, programação e controle. São Paulo: Blucher, 2011.

[6] KERZNER, Harold. Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. John Wiley & Sons, 2017.

[7] LARSON, Erik; GRAY, Clifford. Project Management: The Managerial Process. 7 ed., McGraw-Hill Education, New York, 2018.

[8] LIEBSTUCKEL, Karl. Plant Maintenance with SAP: Business User Guide, 4 ed. Rheinwerk Publishing Inc., Boston, 2017.

[9] MAXIMIANO, Antonio Cesar Amaru et al. Avaliação do uso das ferramentas de gerenciamento de projetos. Revista Economia e Gestão, v. 11, n. 27, p. 9-35, 2011.

[10] MEDEIROS, Bruno Campelo et al. Life Cycle Canvas (LCC): Um Modelo Visual para a Gestão do Ciclo de Vida do Projeto. Revista de Gestão e Projetos, 9(1), 87-101, 2018.

[11] OMG. Business Process Modeling Notation (BPMN), 2013. Versão 2.0.2. Disponível em: < https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0.2/PDF >. Acesso em: 20 out. 2020

[12] PIECHNICKI, F.; BARAN, L. R.; PIECHNICKI, A. S. Proposta de modelagem de um processo de manutenção industrial baseada no padrão BPMN e na norma ISA-95. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, RS, 2012.

[13] PMI - Project Management Institute. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide). 6.ed. Newtown Square, Pennsylvania: PMI, 2017.

[14] Sella, V. T.; Grzybovski, D. Modelo PMBOK/PMI para gestão de projetos nas micro e pequena empresas: um estudo de caso. Revista Economia e Gestão, 11(27), 36-66, 2011.

[15] SHENHAR, Aaron J.; DVIR, Dov. Reinventando gerenciamento de projetos: a abordagem diamante ao crescimento e inovação bem-sucedidos. São Paulo: M. Books, 2010.

[16] SMITH, Frank. E. Project management in maintenance: a way of thinking. PM Network, v. 6, n. 2, pág. 5–7, 1992.

[17] VIANA, Hebert G. R. PCM: Planejamento e controle da manutenção. 5 ed., Qualitymark, Rio de Janeiro, 2002.

[18] YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2001.

Capítulo 17

Otimização dos parâmetros de um modelo de bombas em sistemas de bombeio centrífugo submerso

Ana Carla Costa Andrade
André Laurindo Maitelli
Carla Wilza Souza de Paula Maitelli
Ursula Jácome Barreto Britto

Resumo: Uma das diversas técnicas aplicadas aos processos de produção de petróleo é a elevação artificial, que utiliza equipamentos a fim de reduzir a pressão de fluxo no fundo do poço, promovendo um diferencial de pressão, que resulta em um aumento de vazão. A escolha do método de elevação artificial depende de uma análise de diversos fatores, como custos iniciais de instalação, manutenção e condições existentes no campo produtor. Por definição, o Bombeio Centrífugo Submerso (BCS) é um método de elevação artificial em que um motor elétrico de subsuperfície transforma a energia elétrica em mecânica para acionar uma bomba centrífuga de múltiplos estágios sobrepostos, sendo cada estágio formado por um impelidor (rotor) e um difusor (estator). A bomba converte a energia mecânica do motor em energia cinética sob a forma de velocidade, elevando o fluido à superfície. O método de BCS mostra-se bastante eficiente quando a finalidade é produzir altas vazões de líquido, tanto em ambientes terrestres como marítimos, em condições adversas de temperatura e na presença de fluidos viscosos. Neste trabalho será implementado o método de otimização dos poliedros flexíveis, conhecido como Método Simplex Modificado (MSM), aplicado ao estudo da influência na modificação dos parâmetros de entrada e saída no canal do impelidor de uma bomba centrífuga de um sistema BCS. Na utilização do método de otimização, modificando os parâmetros angulares da bomba, os dados resultantes aplicados nas simulações permitiram a obtenção de valores otimizados do Head (altura de elevação) e uma eficiência sem perdas.

Palavras-chave: Elevação Artificial, Bombeio Centrífugo Submerso, Otimização, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

Uma das diversas técnicas aplicadas aos processos de produção de petróleo é a elevação artificial, que utiliza de meios artificiais para elevar o fluido da formação até a superfície. A escolha do método de elevação depende de uma análise detalhada do projeto e de fatores como custos iniciais de instalação, manutenção dos equipamentos de subsuperfície e superfície, condições existentes no campo produtor.

O método de elevação artificial utilizado para o desenvolvimento do trabalho é o Bombeio Centrífugo Submerso (BCS), que apresenta diversas aplicações na indústria do petróleo, sendo que seu desempenho está diretamente relacionado ao funcionamento da bomba centrífuga, considerada o coração do sistema, motivo pelo qual a importância do estudo e das pesquisas relacionados à área.

No funcionamento de um sistema BCS, alguns fatores interferem no modo de operação da bomba, afetando o seu desempenho, podendo acarretar uma diminuição no processo de produção. Sendo assim, será utilizado neste trabalho o método dos poliedros flexíveis na otimização dos parâmetros de um modelo de bomba centrífuga de sistema BCS, para a busca de uma melhor solução.

As bombas centrífugas ou turbo-bombas são componentes essenciais do método de elevação por Bombeio Centrífugo Submerso, constituídas de múltiplos estágios sobrepostos responsáveis por impulsionar o fluido, em consequência da rotação de um eixo móvel acoplado um disco (rotor ou impelidor), dotado de pás (palhetas ou hélice) juntamente com uma parte fixa (difusor ou estator), orientando o fluido recebido e o encaminha pela periferia devido à ação de descarga da força centrífuga, daí o seu nome mais usual (TAKACS, 2009).

Tanto a forma quanto o tamanho do impelidor e difusor são responsáveis por determinar a vazão produzida, como também o número de estágios e a altura de elevação (*Head*) da bomba. No entanto, torna-se essencial um estudo das partes constituintes do sistema, como o efeito do tamanho e ângulos de inclinação das pás, particularmente no impelidor (SANTOS, 2009). Desta forma, alguns autores desenvolveram trabalhos relacionados na técnica de otimização dos parâmetros de um modelo geométrico, a fim de melhorar o desempenho da bomba, cuja consequência do método ajuda na prevenção de falhas no modo de operação dos equipamentos, evitando desgastes dos mesmos e custos inesperados com uma possível paralisação do sistema e da produção (RODRIGUES, 2012).

Para tornar o desempenho do sistema BCS mais eficiente, foram estudadas maneiras específicas de implementar um algoritmo que permita a otimização dos parâmetros geométricos de um modelo de bomba, objetivando soluções ótimas a partir de um critério de desempenho estabelecido (RAO, 2009), (SILVA, s.d.).

Este trabalho tem como objetivo específico, atingir resultados das curvas da altura de elevação e eficiência a fim de minimizar a diferença da distância entre os valores representativos das curvas característica do fabricante com a do simulado. Além disso, desenvolver simulações por intermédio de um estudo dos ângulos de inclinação das pás na entrada e na saída dos canais do impelidor na bomba centrífuga, conforme modificações necessárias.

2. METODOLOGIA

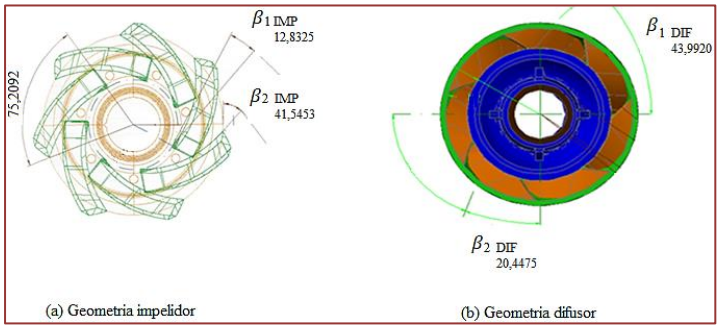
2.1. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA GEOMETRIA

Na fase inicial do trabalho, as características geométricas reais da bomba (impelidor e difusor) foram obtidas por meio de medições feitas na bomba com um corte transversal, as quais foram usadas para desenhar a geometria da bomba no AUTOCAD®. Após a fase de geração da geometria no modelo CAD, foi construída a geometria no formato ANSYS® CFX® mediante as seguintes operações: geração da geometria através do *BladeGen* e geração das malhas utilizando o *Meshing*, etapas essas necessárias para o processo de simulações.

2.2. GEOMETRIA NO MODELO CAD

Utilizando o programa AUTOCAD®, foram obtidas as medidas referentes à geometria original da bomba, considerando alguns parâmetros essenciais, tais como: ângulos de entrada, ângulos de saída e espessura das pás. Parâmetros esses que definem o escoamento no interior dos canais da bomba do impelidor e do difusor, como podem ser vistos na (Figura 1 (a) geometria impelidor e (b) geometria difusor).

Figura 1. Geometria no formato CAD do impelidor e do difusor no sistema BCS



2.3. GEOMETRIA NO FORMATO ANSYS® CFX®

Como etapa seguinte à definição da geometria em 3D no formato CAD (*Computer-Aided Design* - Desenho Assistido por Computador), a partir do módulo *BladeGen* do CFX®, foram utilizadas as dimensões anteriormente obtidas no formato CAD a fim de criar o modelo para os perfis meridionais, tanto do impelidor quanto do difusor, mostrados nas Figuras 2 e 3, permitindo definir os ângulos e espessura das pás, para obter uma geometria tridimensional dos parâmetros inseridos. Nessa fase de definição dos ângulos, foram executadas modificações somente nos canais de entrada (β_{1IMP}) e canais de saída (β_{2IMP}) do impelidor, cujos valores dos ângulos de entrada (β_{1DIF}) e ângulos de saída (β_{2DIF}) do difusor foram sempre mantidos conforme a geometria original da bomba.

Ainda na fase de criação da geometria nos perfis meridionais (Figuras 2 e 3), foram utilizadas medidas diferenciadas da geometria original da bomba, ou seja, com os pontos das pás alongados, quando comparado com a geometria original tanto do impelidor como do difusor.

Este procedimento de alongamento da geometria geralmente é utilizado para evitar problemas de recirculação do fluido na entrada e na saída dos canais da bomba, que podem gerar redução nas pressões, afetando o seu desempenho.

Ao trabalhar com uma geometria da bomba com seus pontos alongados, as soluções são propícias a apresentar resultados cada vez mais próximos aos valores da curva do fabricante.

Figura 2. Tela do BladeGen®, definição do perfil meridional do impelidor

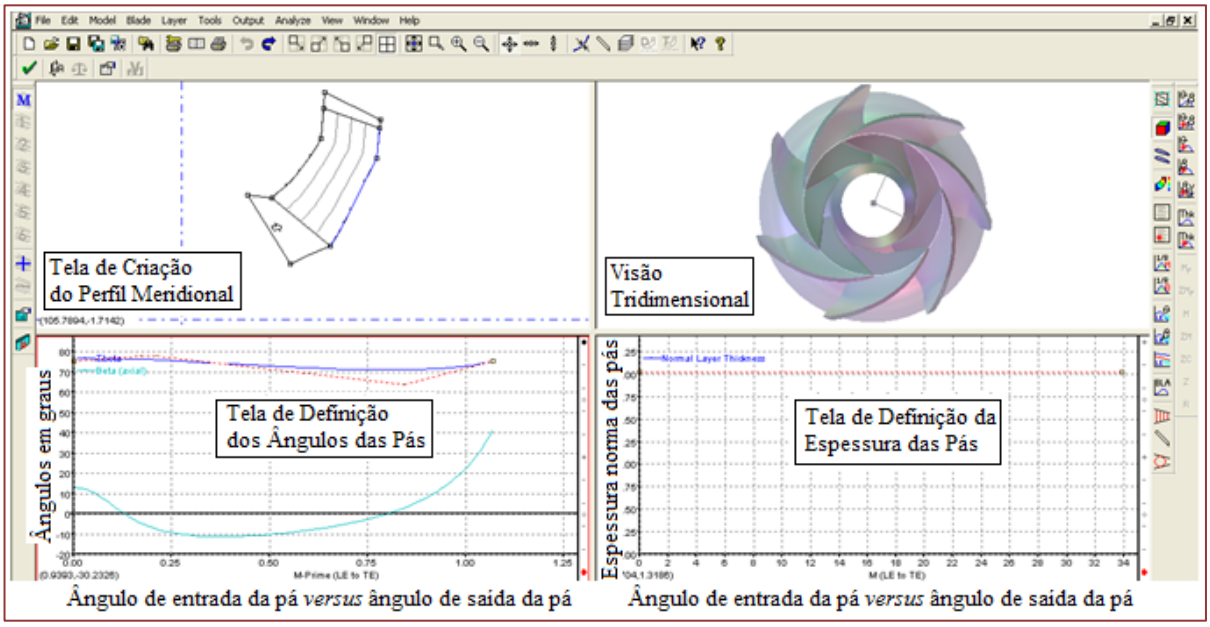
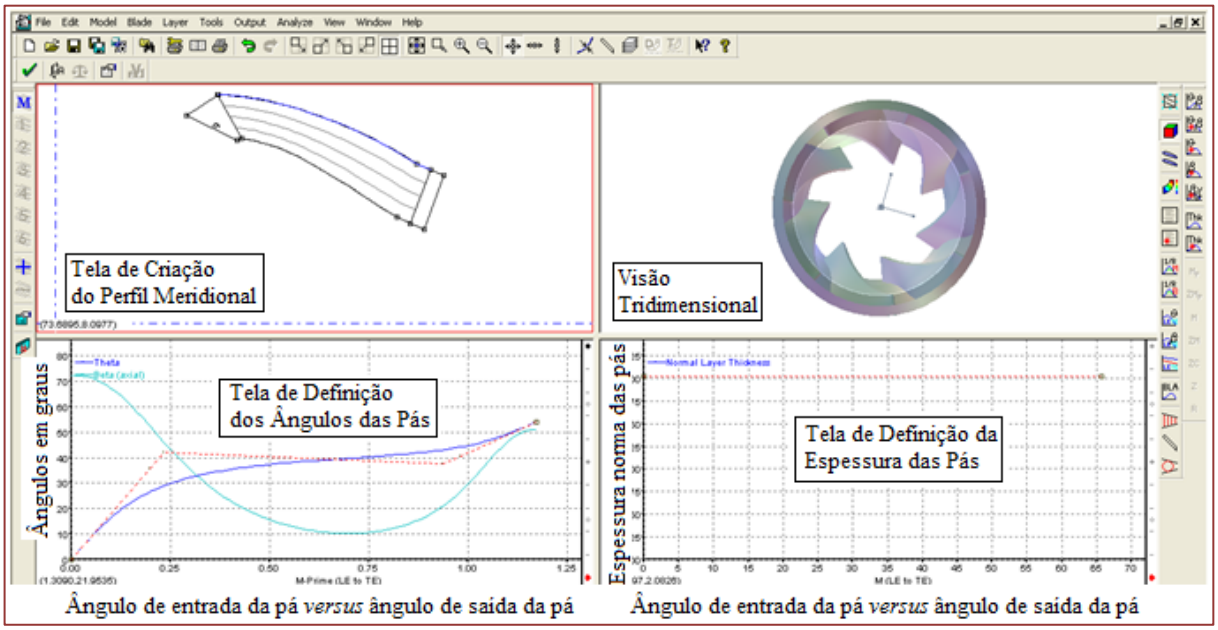


Figura 3. Tela do BladeGen®, definição do perfil meridional do difusor



2.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO NO MATLAB®

A aplicação do Método *Simplex* Modificado (MSM) foi feita por meio do algoritmo implementado em ambiente MATLAB®.

Inicialmente foram dados os pontos iniciais de entrada [χ_1, χ_2, χ_3], cujos valores representam respectivamente: $\chi_1 = [\beta_{1IMP(1)}\ \beta_{2IMP(1)}]^T$, $\chi_2 = [\beta_{1IMP(2)}\ \beta_{2IMP(2)}]^T$, e $\chi_3 = [\beta_{1IMP(3)}\ \beta_{2IMP(3)}]^T$.

A partir dos valores anteriores de β_{1IMP} e β_{2IMP}, simulações foram realizadas nas vazões (667,74; 890,32; 1.112,91 e 1.335,49 m³/d) consideradas pontos de maior proximidade do ponto de vazão correspondente à maior eficiência da bomba (q_{BEP}), representada pela vazão de cálculo volumétrica de 1.112,91 m³/d na curva do fabricante. Como resultado dessas simulações, foram obtidos valores de altura de elevação e eficiência como dados necessários para a geração da função objetivo que foi utilizada como base de cálculo no algoritmo dos poliedros flexíveis (HENDRIX; BOGLÁRKA, 2010).

A função objetivo a ser minimizada, $J(\beta_{1IMP}, \beta_{2IMP})$ dada pela Equação 1, além de ter sido desenvolvida com os dados resultantes das simulações, utiliza também valores da curva do fabricante, constituindo assim, uma função relacionada ao quadrado da diferença dos pontos simulados em relação aos pontos da curva do fabricante, sendo estabelecida na função objetivo uma determinada ponderação dependendo do grau de importância aplicado para a altura de elevação (*head*) e eficiência (*eff*).

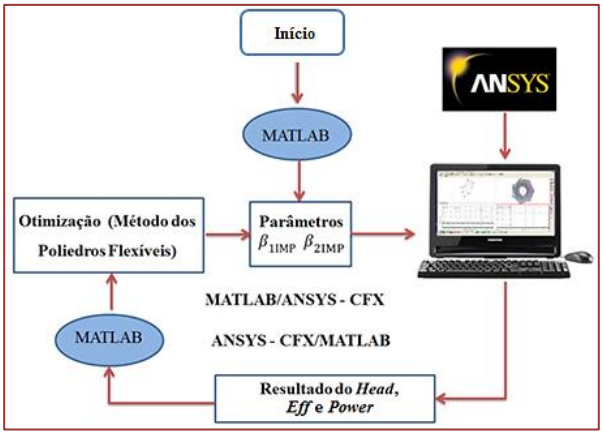
$$J(\beta_{1IMP}, \beta_{2IMP}) = \alpha_1 * (head_{simulado} - head_{fabricante})^2 + \alpha_2 * (eff_{simulado} - eff_{fabricante})^2 \quad (1)$$

Sendo:

$\alpha_1 = 0{,}6$; $\alpha_2 = 0{,}4$

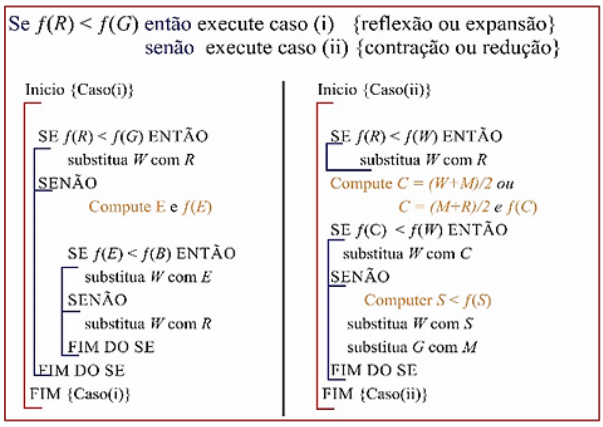
Para um melhor entendimento na obtenção da função objetivo, o fluxograma mostrado a Figura 4 apresenta o uso de *softwares* distintos MATLAB® e ANSYS® CFX® na implementação do método de otimização dos parâmetros β_{1IMP} e β_{2IMP} e da bomba.

Figura 4. Fluxograma do processo de otimização dos parâmetros da bomba utilizando *softwares* distintos



Toda a lógica de implementação do método dos poliedros flexíveis pode ser observada na Figura 5, e foi descrita de acordo com as etapas do algoritmo que o compõe (MATHEWS, 2004).

Figura 5. Lógica do algoritmo implementado conforme o Método *Simplex* Modificado (MSM)



Para as etapas de classificação, comparação e teste dos pontos, foram utilizadas as operações de reflexão, expansão, contração e redução, para a formação dos poliedros (NELDER; MEAD, 1965).

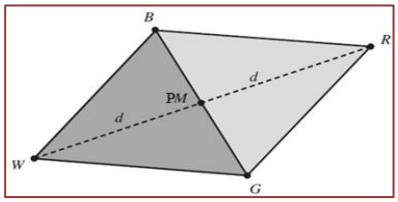
Como etapa fundamental na geração das operações que constituem o método dos poliedros, foi calculado primeiramente o ponto médio (PM) e determinado a seguinte notação para os pontos: B (melhor ponto), G (bom ponto) e W (pior ponto) de acordo com a descrição:

- **Ponto Médio (PM)**:

O processo de construção do Ponto Médio (PM) utiliza o segmento de reta que une os pontos B e G, encontrando a média das coordenadas Equação 2, como observado na Figura 6.

$$PM = (B + G)/2 \quad (2)$$

Figura 6. Triângulo BGW, PM e o ponto R refletido



- **Reflexão usando o ponto R**:

Na determinação da reflexão, foi necessário encontrar primeiramente o (PM) já obtido na fase anterior, e sendo W classificado como o pior ponto, foi calculado o ponto refletido pela Equação 3 movendo em direção ao mínimo da função (R):

$$R = 2PM - W \qquad (3)$$

- **Expansão para o ponto E**:

Quando o valor de $f(R) < f(W)$, então deve-se mover para a direção correta, para o ponto que tenha o valor mínimo. Possivelmente o mínimo tenha sido um pouco mais do que o valor de R, então:

$$W = R$$

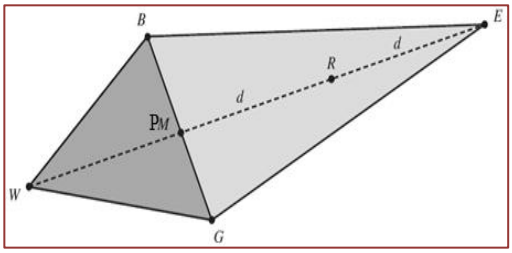
Caso contrário, o seguimento de reta $\overline{MR}$ será expandido para o ponto E calculado pela Equação 4, formando o triângulo BGE Figura 7. O ponto E pode ter sido encontrado por um adicional de distância ao longo do segmento de reta $\overline{MR}$. Agora, caso o valor da $f(E)$ tenha sido menor quando comparado ao valor da $f(R)$, então:

$$E = 2R - PM \qquad (4)$$

Se $f(E) < f(R)$ e $f(B) < f(R)$, então:

$$W = R$$

Figura 7. Triângulo BGW, o ponto R e a expansão do ponto E



- **Contração usando o ponto C**:

Sendo os valores de $f(R) < f(W)$ iguais, então: W = R. Um novo ponto é testado, possivelmente a função seja menor no (PM), de forma que W não possa ser substituído pelo (PM), pois, deseja-se a formação de um triângulo. Observando a Figura 8, a partir dos pontos médios C_1 e C_2, considerados (PM*)* dos segmentos

$\overline{WPM}$ e $\overline{PMR}$, um novo com menor valor da função foi chamado de C, onde um novo triângulo foi criado e calculado utilizando as Equações 5 e 6:

$$C_1 = (W + PM)/2 \quad (5)$$

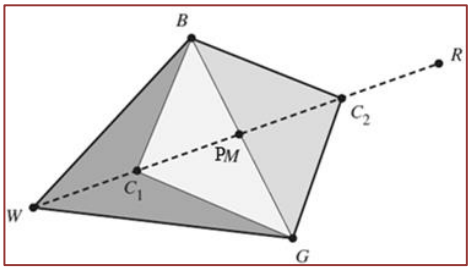
$$C_2 = (PM + R)/2 \quad (6)$$

Caso contrário, o seguimento de reta $\overline{PMR}$ foi expandido para o ponto *E*:

Se $f(C_1) > f(C_2)$, então:

$C = C_2$ Senão, $C = C_1$

Figura 8. Contração do ponto C_1 ou C_2



- **Redução para o ponto C**:

Se $f(C) < f(W)$, $W = C$

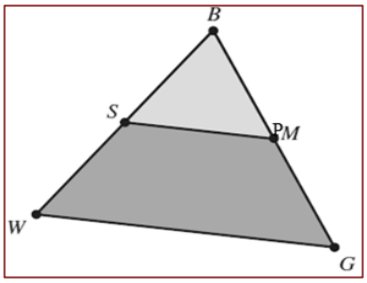
Os pontos G e W foram reduzidos em direção ao ponto B Figura 9, onde G foi substituído pelo (PM) e W substituído por S, que foi calculado pelo ponto médio do segmento formado pelos pontos W e B Equação 7, como observado na Figura 9.

$$S = (W + B)/2 \quad (7)$$

$$W = S$$

$$G = PM$$

Figura 9. Redução do triângulo para o ponto B.



Então, com a geração do triângulo formado pela redução dos pontos (S e PM), um novo ciclo foi iniciado a partir dos valores dos parâmetros iniciais da bomba β_{1IMP} e β_{2IMP}, realizando as operações que forem necessárias na formação do poliedro em busca da solução ótima conforme o critério de parada adotado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

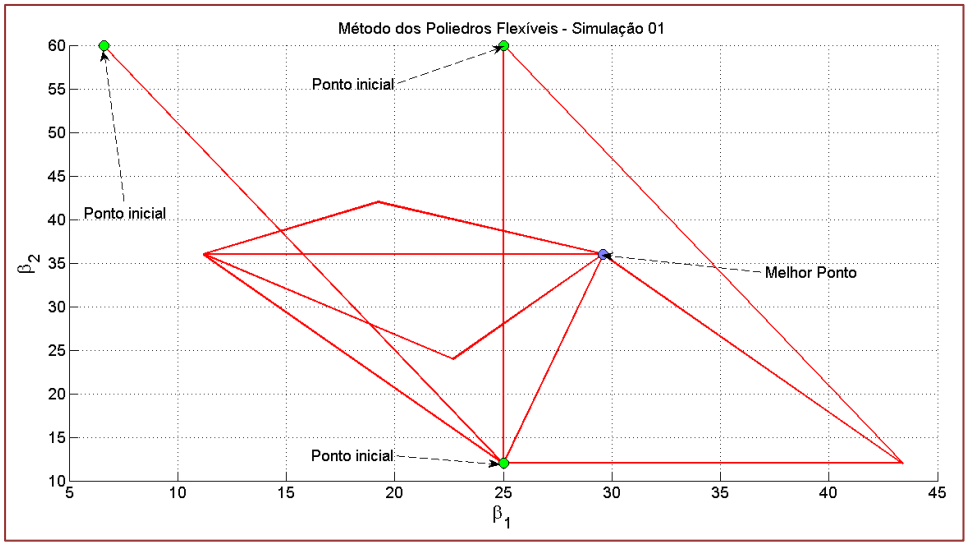
3.1. IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DOS POLIEDROS FLEXÍVEIS NA OTIMIZAÇÃO

A fase de implementação do método dos poliedros flexíveis, na obtenção dos ângulos de inclinação das pás na entrada e na saída dos canais da geometria do impelidor, foi necessária para buscar o melhor ponto de operação da bomba centrífuga submersa quando comparado aos dados representativos da curva do fabricante.

Para a implementação do método, os valores de β_{1IMP} e β_{2IMP} foram aplicados nas vazões (667,74; 890,32; 1.112,91 e 1.335,49 m^3/d), na busca pela melhor solução, comprovando o ponto ótimo β_{1IMP} e β_{2IMP} encontrado.

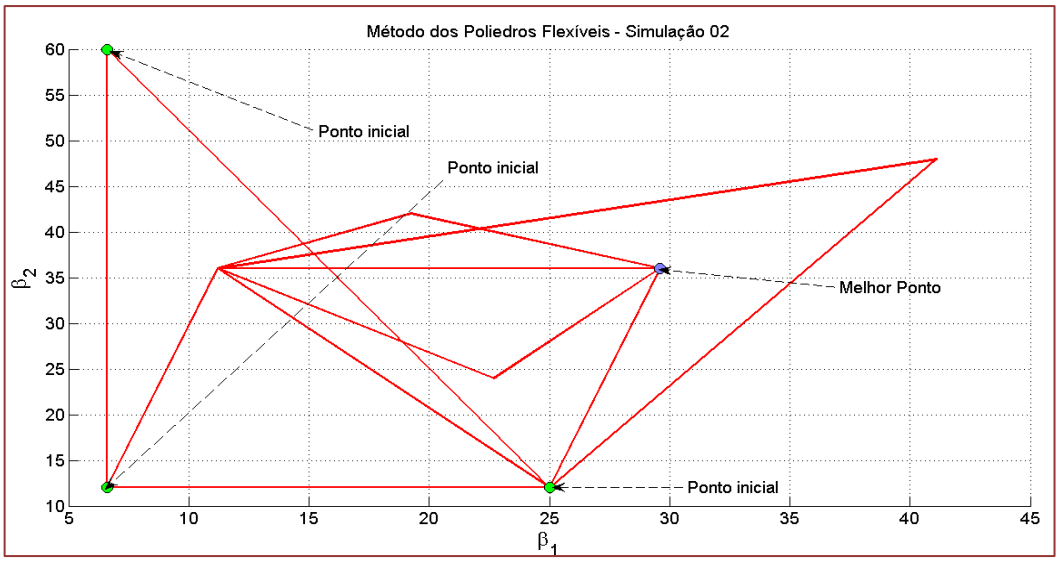
Com os gráficos resultantes do método de otimização dos poliedros flexíveis, foi possível observar na Figura 10, os pontos iniciais (χ_1(β_{1IMP} = 6,5890 e β_{2IMP} = 60,0000)), (χ_2(β_{1IMP} = 25,0000 e β_{2IMP} = 60,0000)) e (χ_3(β_{1IMP} = 25,0000 e β_{2IMP} = 12,0000)) na formação do primeiro triângulo, com a sequência de formação dos demais triângulos convergindo na busca do ponto ótimo (β_{1IMP} = 29,6028 e β_{2IMP} = 36,0000), executando as operações de reflexão, expansão, contração e redução na lógica de implementação do método.

Figura 10. Sequência de triângulos convergindo para o ponto ótimo de acordo com o método dos poliedros flexíveis – simulação 01



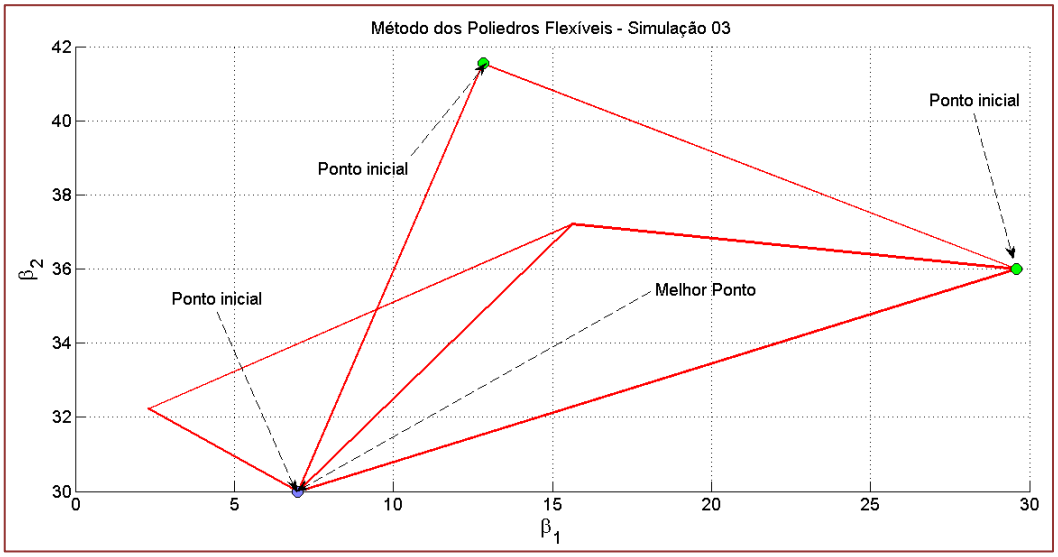
Outro fato observado ao longo da otimização foi que, durante a busca pelo melhor ponto, o método dos poliedros percorreu toda a região de interesse aceitável na fase de geração da malha, nas condições de simulação para valores de β_{1IMP} e β_{2IMP}. Analisando a Figura 11, os pontos iniciais (χ_1(β_{1IMP} = 6,5890 e β_{2IMP} = 60,0000)), (χ_2(β_{1IMP} = 25,0000 e β_{2IMP} = 12,0000)) e (χ_3(β_{1IMP} = 6,5890 e β_{2IMP} = 12,0000)) constituem a formação do primeiro triângulo, finalizando a sequência de formação dos triângulos ao convergir para o ponto ótimo (β_{1IMP} = 29,6028 e β_{2IMP} = 36,0000) do sistema.

Figura 11. Sequência de triângulos convergindo para o ponto ótimo de acordo com o método dos poliedros flexíveis – simulação 02



Interpretando a Figura 12, partindo dos pontos iniciais (χ_1(β_{1IMP} = 29,6028 e β_{2IMP} = 36,0000)), (χ_2(β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000)) e (χ_3(β_{1IMP} = 12,8300 e β_{2IMP} = 41,5400)) para a formação do primeiro triângulo, a convergência dos pontos foi finalizada encontrando o ponto ótimo (β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000).

Figura 12. Sequência de triângulos convergindo para o ponto ótimo de acordo com o método dos poliedros flexíveis – simulação 03



3.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Utilizando o programa comercial o ANSYS® CFX®, simulações foram implementadas para um modelo geométrico em 3D, nos canais de um estágio de uma bomba de sistema BCS utilizando como fluido água.

Nessa etapa das simulações com o modelo computacional, o tempo estimado por simulação foi de aproximadamente 30 minutos, em que cada simulação realizada corresponde obrigatoriamente a um dado valor de altura de elevação e eficiência.

O objetivo foi obter resultados da altura de elevação e eficiência cada vez mais próximos dos valores dos pontos pertencentes às curvas características fornecidas pelo fabricante.

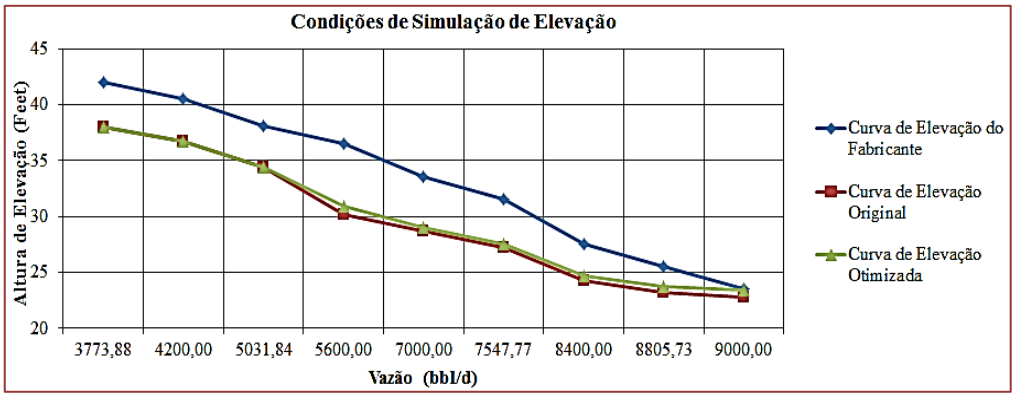
A Tabela 1 apresenta os resultados das simulações realizadas, não somente nas vazões correspondentes aos pontos que estejam próximos do melhor ponto de eficiência da bomba na curva experimental do fabricante, como em outras vazões. O somatório da altura de elevação otimizada totalizou o valor de 3,11ft, correspondente a diferença dos valores da altura de elevação otimizada com os valores da altura de elevação original, obtendo a média de 0,34 ft por ponto da altura de elevação otimizada.

Entretanto, fazendo uma análise por meio da Figura 13, a curva de elevação otimizada minimiza a diferença da distância quando comparada com a curva do fabricante. Sendo assim, a curva de elevação otimizada, além de apresentar maior proximidade aos valores típicos da curva do fabricante, mostrou valores otimizados quando comparados à curva de elevação original.

Tabela 1. Simulações realizadas com valores originais (β_{1IMP} = 12,8300 e β_{2IMP} = 41,5400) e otimizados (β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000) para obtenção da altura de elevação.

N° de vazões	Vazão de cálculo volumétrica		Altura de Elevação do Fabricante		Altura de Elevação Original		Altura de Elevação Otimizada	
	m^3/d	bbl/d	m	Ft	M	ft	m	Ft
1	600,00	3.773,88	12,80	42,00	11,58	37,99	11,59	38,02
2	667,74	4.200,00	12,34	40,50	11,18	36,68	11,20	36,75
3	800,00	5.031,84	11,61	38,10	10,47	34,36	10,49	34,42
4	890,32	5.600,00	11,12	36,50	9,19	30,15	9,42	30,91
5	**1.112,91**	**7.000,00**	**10,21**	**33,50**	**8,75**	**28,71**	**8,85**	**29,03**
6	1.200,00	7.547,77	9,60	31,50	8,29	27,20	8,39	27,54
7	1.335,49	8.400,00	8,38	27,50	7,39	24,25	7,51	24,64
8	1.400,00	8.805,73	7,77	25,50	7,07	23,20	7,23	23,72
9	1.430,88	9.000,00	7,17	23,55	6,95	22,80	7,14	23,42
Somatório da diferença (Altura de Elevação Otimizada (ft) – Altura de Elevação Original (ft))								3,11

Figura 13. Gráfico representativo das curvas de elevação (fabricante, original (β_{1IMP} = 12,8300 e β_{2IMP} = 41,5400) e otimizada (β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000)) *versus* vazão.

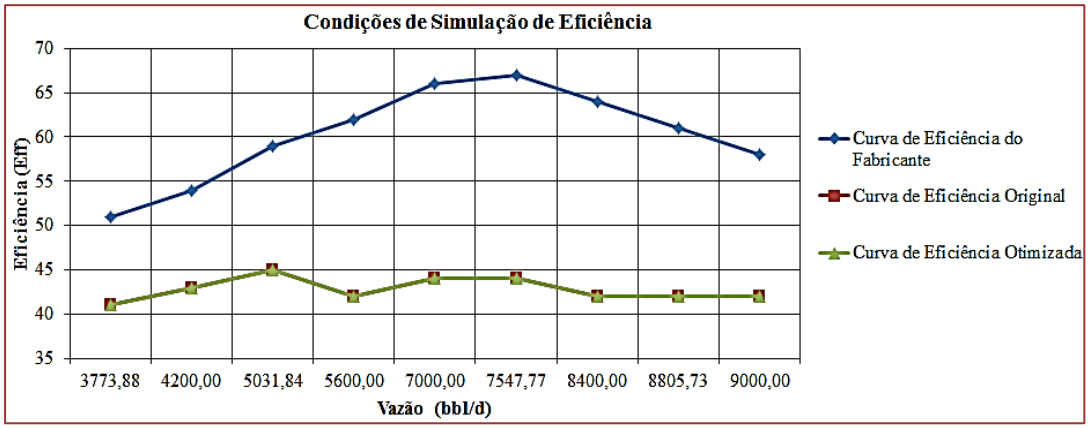


Com os valores obtidos da eficiência por meio das simulações, como visto na Tabela 2, foi possível interpretar, juntamente com a Figura 14, que trabalhando com uma geometria da bomba com as pás alongadas, não só a curva de eficiência original como a curva de eficiência otimizada, mantiveram-se constantes quanto aos seus valores, sem ocorrência de perda no desempenho da eficiência da bomba.

Tabela 2. Simulações realizadas com valores originais (β_{1IMP} =12,8300 e β_{2IMP} = 41,5400) e otimizados (β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000) para obtenção da eficiência.

N° de vazões	Vazão de cálculo volumétrica		Eficiência (%)		
	M³/d	bbl/d	Fabricante	Original	Otimizada
1	600,00	3.773,88	51	41	41
2	667,74	4.200,00	54	43	43
3	800,00	5.031,84	59	45	45
4	890,32	5.600,00	62	42	42
5	**1.112,91**	**7.000,00**	**66**	**44**	**44**
6	1.200,00	7.547,77	67	44	44
7	1.335,49	8.400,00	64	42	42
8	1.400,00	8.805,73	61	42	42
9	1.430,88	9.000,00	58	42	42
Somatório da diferença (Eficiência Otimizada (%) – Eficiência Original (%))					0

Figura 14. Gráfico representativo das curvas de eficiência (fabricante, original (β_{1IMP} = 12,8300 e β_{2IMP} = 41,5400) e otimizada (β_{1IMP} = 7,0000 e β_{2IMP} = 30,0000)) *versus* vazão.



4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve o propósito de implementar um método de otimização e desenvolver simulações para descrever a influência na modificação dos parâmetros da bomba, relacionado à sua geometria no interior dos canais de um estágio de uma bomba centrífuga de sistemas de BCS. Com a finalidade de obter resultados das curvas da altura de elevação e eficiência, capazes de minimizar a diferença da distância quando comparados aos valores da curva característica fornecida pelo fabricante.

Na metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, inicialmente foi gerada a geometria da bomba tanto no modelo CAD como no formato ANSYS® CFX®, etapas necessárias para realização das simulações. Para validar o método de otimização dos poliedros flexíveis, foi implementado através do *software* MATLAB® toda a lógica aplicada no desenvolvimento do algoritmo com o objetivo de buscar o melhor ponto como solução do problema, aplicando as seguintes operações: reflexão, expansão, contração e redução, que constituem o método dos poliedros.

Com os resultados apresentados na etapa de implementação do método de otimização, foi demonstrado que o método dos poliedros flexíveis, caracterizado por ser um método que não utiliza o gradiente para a otimização da função custo, foi facilmente calculado, convergindo com menos iterações, percorrendo de forma direta toda a região de interesse.

Quanto às simulações, o programa comercial ANSYS® CFX® foi fundamental na execução das inúmeras simulações, retornando a cada iteração, valores da altura de elevação e eficiência, necessários para fase de geração da função objetivo, no processo de otimização dos parâmetros β_{1IMP} e β_{2IMP} da bomba.

Por fim, analisando os gráficos das curvas de altura de elevação e eficiência, foi possível concluir que o

gráfico da altura de elevação apresentou maior proximidade aos valores da curva do fabricante e dos valores otimizados quando comparados à curva de elevação original. Enquanto no gráfico da eficiência não foi apresentada perda de desempenho na curva original, nem na curva otimizada, consequência do próprio alongamento das pás.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Programa de Recursos Humanos (PRH - PB220/UFRN) pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa, e ao apoio do Laboratório de Automação em Petróleo (LAUT/UFRN).

REFERÊNCIAS

[1] HENDRIX, E.; BOGLÁRKA, G. Introduction to nonlinear and global optmização: springer optimization and its applications 37. London: Springer New York Dordrecht Heidelberg, 2010.

[2] MATHEWS, J. H.; FINK, K. Numerical methods using Matlab. New Jersey, USA: Prentice-Hall, v. 8, p. 430 - 6, 2004.

[3] NELDER, J.; MEAD, R. A. Simplex method for function minimization. The Computer Journal, v. 7, p. 308 - 13, 1965.

[4] RAO, S. Engineering optimization: theory and practice. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

[5] RODRIGUES, ANA PAULA de S. P. Uma metodologia híbrida de otimização aplicada às pás de turbinas hidráulicas axiais. 2012. 175 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília - Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília-DF, 2012.

[6] SANTOS, M. A. Otimização da bomba-turbina utilizando programação quadrática sequencial e algoritmos genéticos. 2009. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Itajubá, 2009.

[7] SILVA, E. C. N. Otimização em engenharia mecânica: métodos numéricos aplicados em problemas de otimização de engenharia. Apostila do Curso de Engenharia Mecânica. Escola Politécnica da USP, [s.d.].

[8] TAKACS, G. Electrical submersible pumps manual: design, operations and maitenance. USA: Gulf Professional Publishing, 2009.

Capítulo 18

As relações entre os acidentes na indústria de petróleo e o desenvolvimento das normas e marcos regulatórios associados: Um estudo exploratório

Camila Bueno de Castro
Lucas de Almeida Martins
Geraldo de Souza Ferreira

Resumo: Este artigo apresenta um estudo exploratório sobre o relacionamento entre os principais acidentes que ocorreram na indústria de petróleo em ambiente offshore -- nas plataformas de exploração e produção, como também no transporte -- e o surgimento e alteração de instrumentos legais, normas e marcos regulatórios, elaborados a partir do conhecimento das causas e consequências dos mesmos. Ao longo da história da indústria do petróleo as atividades foram se tornando mais complexas. Novos acidentes deram ensejo a normas e procedimentos mais rígidos, com o objetivo de prevenir e/ou minimizar as perdas econômicas e o impacto sobre o meio ambiente, a sociedade e as condições da vida humana de futuros eventos. O aprendizado decorrente dos acidentes e incorporado ao campo de atuação da Engenharia, por meio das recomendações e determinações dos diversos instrumentos legais, permite que as atividades e procedimentos futuros sejam realizados com as mais adequadas e mais seguras tecnologias para a operação offshore. A temática abordada neste trabalho tem relevância e pertinência na formação dos engenheiros de petróleo na conjuntura brasileira, pois os futuros profissionais, cuja demanda se acentua com a consolidação do Pré-Sal, serão colocados frente a novos desafios e riscos tecnológicos ainda desconhecidos e inerentes às singularidades desta nova fronteira exploratória.

Palavras-Chave: Acidentes, instrumentos legais, legislação, marcos regulatórios, *Deepwater Horizon*, indústria do petróleo.

1. INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera, devido à sua inerente complexidade, possui registros de inúmeros acidentes que colocam em risco a segurança dos trabalhadores, com perdas econômicas e impactos ambiental e social associados.

Após a ocorrência de um acidente, seja por falhas mecânicas, humanas, ou por falta de conhecimento do contexto situacional, buscam-se novas práticas e procedimentos a fim de que erros não se repitam, dado que as medidas preventivas são economicamente mais viáveis e sustentáveis que medidas emergenciais de mitigação e correção.

O estudo em retrospectiva da história da indústria do petróleo mostra que os acidentes influenciaram novas posturas e práticas na engenharia e contribuíram para a consolidação e evolução de marcos regulatórios e de novas legislações.

A análise dos acidentes mais relevantes, bem como a compreensão de seu contexto, traz, portanto, ensinamentos expressivos para a compreensão da complexa dinâmica de interação entre os riscos tecnológicos e ambientais e o desenvolvimento dos marcos legais relacionados à indústria do petróleo.

Este artigo tem como objetivo fazer um estudo exploratório do relacionamento entre os maiores acidentes da indústria do petróleo e as principais normas e convenções internacionais. Em função de sua importância e ocorrência recente, é feita uma apresentação do *blow out* e explosão da plataforma *Deepwater Horizon* no Golfo do México em 2010, que possui potencial significativo para influenciar o avanço dos novos marcos regulatórios.

O tema aqui abordado resulta de projeto de pesquisa e estudos sobre riscos tecnológicos e ambientais na indústria do petróleo – acidentes e marcos legais, conduzido no Grupo PetroPET – Grupo Institucional de Educação Tutorial do Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo da UFF-Universidade Federal Fluminense.

A pertinência deste tema se associa ao fato que o crescimento da indústria do petróleo no Brasil, com as descobertas recentes do Pré-Sal, trará benefícios econômicos ao país. No entanto, a intensificação das atividades na indústria petrolífera, caso não sejam tomados cuidados efetivos com relação à aplicação de normas de segurança e meio ambiente, pode ocasionar acidentes com danos e impactos socioeconômicos e ambientais significativos.

Os engenheiros de petróleo serão agentes importantes neste novo contexto. O presente trabalho busca contribuir para a formação pessoal e profissional dos novos engenheiros, ao despertar condições para uma conscientização crítica e uma atuação com responsabilidade socioambiental, ao pontuar a relevância do relacionamento entre a complexidade das atividades da Engenharia de Petróleo, a tecnologia e os riscos tecnológicos e ambientais.

2. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em um estudo exploratório, no sentido de Gil (2008), do relacionamento entre os acidentes da indústria do petróleo e as normas e convenções internacionais deles decorrentes. A lógica de construção desta argumentação se sustenta no fato que a práxis da Engenharia decorre de um processo de aprendizado contínuo, que busca definir e construir novos protocolos e procedimentos para que as atividades e operações sejam realizadas de forma segura e confiável.

Neste sentido, durante o trabalho fez-se um levantamento dos acidentes relevantes que ocorreram na história da indústria de petróleo. Em paralelo, foram estudadas algumas das principais normas e convenções internacionais ambientais e de segurança. De posse destas informações, fez-se o estudo das causas e consequências dos acidentes, para se identificar as diretrizes que culminaram em novos marcos legais ou em modificação dos marcos e normas existentes.

Para a elaboração deste artigo foi feita uma pesquisa bibliográfica em bases de periódicos e bancos de monografias, dissertações e teses sobre acidentes na indústria petrolífera, marcos regulatórios e suas respectivas evoluções. Para atualização de dados, foram utilizadas informações disponíveis em páginas de alta confiabilidade na web. Os resultados foram sistematizados e são apresentados no texto.

3. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE A ORGANIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Com o desenvolvimento da sociedade na passagem do século XIX ao século XX, o petróleo consolidou-se como o principal insumo energético das economias desenvolvidas (YERGIN, 2010). O crescimento da indústria petrolífera foi direcionado por duas modalidades na sua organização industrial: uma que se centrou em empresas privadas que evoluíram rapidamente para a internacionalização, que é a situação das firmas pioneiras americanas. E a outra associada às empresas estatais, principalmente em países com industrialização tardia. As empresas na indústria de petróleo são de grande porte e buscam a verticalização, desenvolvendo atividades em todas as etapas da cadeia produtiva, desde a pesquisa e exploração, produção, transporte, refino, até a distribuição ao consumidor final.

Os determinantes desta forma peculiar de organização industrial e da estrutura da indústria do petróleo associam-se aos objetivos de redução de riscos e custos, controle da tecnologia e procedimentos, garantia da manutenção da execução de atividades, como também proteção face às súbitas variações do preço do petróleo. Fatores econômicos e técnicos na pesquisa, exploração e refino; exigências de fluxo contínuo e estável de abastecimento; necessidade de novas descobertas de reservas, face à exaustão das existentes; e elevados riscos geológicos e financeiros exercem influências na organização industrial das empresas.

O mercado do petróleo torna-se dinâmico, com bruscas oscilações de preço do barril após as crises da década de 1970, quando o preço deste salta de valores inferiores a cinco dólares por barril, em 1972, para valores superiores a 35 dólares dez anos depois. A partir de 2005, as oscilações no preço do barril, que atinge valores acima de cem dólares, tornam-se acentuadas (SHAH, 2007).

Para lidar com a instabilidade do mercado em um contexto de custos crescentes em fronteiras exploratórias cada vez mais complexas (como por ex. exploração e produção em águas profundas, em regiões geladas e em áreas desérticas de acesso difícil), que aumentam os riscos de acidentes, e restringem os lucros, as empresas da indústria petrolífera mundial passaram a adotar estratégias para redução destes riscos e dos custos (ALVEAL, 2003).

Essas estratégias convergiram na consolidação de dois movimentos ainda perceptíveis: o aumento da concentração industrial mundial, com operações de fusões e aquisições entre empresas de grandes portes, como Chevron-Texaco, BP-Amoco-Arco, Exxon-Mobil e Repsol-YPF; e o aumento de acordos de cooperação entre as empresas, como exemplo o consórcio Petrobras-Total-Shell-CNOOC-CNPC para realizar atividades no Pré-Sal. Estas fusões estratégicas e acordos de cooperação, a partir da década de 1990, cobrem todos os segmentos da cadeia petrolífera, promovendo novos horizontes de negociações.

A partir da descoberta das reservas da província do Pré-Sal no Brasil, a mais importante fronteira exploratória recente, ocorre deslocamento da geoeconomia do petróleo para o Atlântico Sul, para suprir a crescente demanda por derivados.

4. OS ACIDENTES NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

A ocorrência das principais reservas de petróleo, em localidades como Oriente Médio, México, Venezuela, e em áreas offshore no Brasil e em países da África, distantes dos centros de refino e dos grandes mercados consumidores, faz com que haja contínuo aumento do transporte marítimo de petróleo e derivados. Também no que diz respeito à exploração e produção, muitas das atividades mais complexas são feitas no mar, utilizando plataformas de petróleo, em condições de trabalho mais críticas que em terra. Assim, os acidentes mais importantes ocorrem offshore, seja durante o transporte de petróleo ou nas atividades de exploração e produção (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Acidentes relevantes com petroleiros na indústria do petróleo

Acidente / Ano	Descrição	Consequências
Torrey Canyon 1967	Encalhou na Grã-Bretanha.	Derrame de 123 mil t de óleo.
Exxon Valdez 1989	Encalhou no Alasca. Maior impacto ambiental da indústria petrolífera, antes da *Deepwater Horizon.*	Derrame de 250 mil barris de petróleo. Extensa área devastada. Pessoas não foram indenizadas. Região ainda contaminada.
Erika 1990	França.	Derrame de petróleo. Recolhidos no mar, mais de 47 mil t de óleo; e mais de 52 mil t de resíduos. Recolhidos em terra mais de 100 mil t de resíduos contaminados.
Prestige 2002	Espanha.	Naufrágio durante operação, com 13800 t de óleo.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 2: Acidentes relevantes com plataformas na indústria do petróleo

Acidente / Ano	Descrição	Consequências
Ixtoc One 1979	Explodiu no Golfo do México.	Derrame de cerca de 147 milhões de galões de óleo, controlado após nove meses.
Piper Alpha 1988	Explodiu a nordeste de Aberdeen, Mar do Norte.	Morte de 167 pessoas.
Odyssey 1988	Explodiu no Canadá.	Mais de 1 milhão de barris de óleo derramados.
Lago Maracaibo Venezuela 1993	*Blow out* destrói uma plataforma e danifica as adjacentes.	11 mortes.
P-36 2001	Explodiu na Bacia de Campos, Brasil.	11 mortes. Embarcação afundou com 9500 barris de óleo.
Deepwater Horizon 2010	*Blow out.* Explodiu, no Golfo do México.	11 mortes. Derrame de quase 5 milhões de barris de óleo.

Fonte: elaboração própria.

Nas novas fronteiras exploratórias, no Brasil, como também em outros ambientes offshore, como o Golfo do México e o Mar do Norte, tem-se perfurado em águas profundas e ultraprofundas, acima de dois mil metros de coluna d'água, fato que torna a atividade de exploração e produção mais complexa e vulnerável a acidentes. Este novo contexto provoca aumento em investimentos para a inovação tecnológica em equipamentos e ferramentas, em treinamento e qualificação das equipes de trabalho, e para a melhoria nos sistemas de testes, controle e segurança das operações.

Para minimizar o risco de acidentes nestas condições exploratórias, são feitas propostas de novas convenções e legislações. A organização industrial da indústria do petróleo se ajusta à medida que as empresas têm que obedecer aos desafios e aos novos marcos regulatórios.

5. O ACIDENTE DA PLATAFORMA DEEPWATER HORIZON, GOLFO DO MÉXICO, 2010

O acidente com a plataforma *Deepwater Horizon*, ocorrido em 20 de abril de 2010, no Golfo do México, foi um dos piores desastres tecnológicos, do ponto de vista econômico, impacto social, saúde e danos

ambientais. A perda desta plataforma foi provocada por um *blow out* – um evento que ocorre quando se perde o controle da pressão no poço, e o petróleo flui descontroladamente (BOURGOYNE et al.,1986) – quando se perfurava o poço de Macondo.

O *blow out* foi seguido por explosões e incêndio, provocando a morte de 11 (onze) pessoas e 17 (dezessete) feridos. A plataforma afundou dois dias após o incêndio. O poço em perfuração ficou fora de controle durante três meses e ocorreu o vazamento de quase cinco milhões de barris de óleo. O óleo era uma mistura de água, gás e óleo leve de alto grau API (National Oil Spill Commission, 2011).

A plataforma *Deepwater Horizon*, uma das maiores sondas submersíveis de perfuração em águas profundas, estava avaliada em 560 milhões de dólares, pertencia à Transocean e fazia a perfuração do poço em área sob responsabilidade da operadora BP - British Petroleum.

A BP aponta, como um fator determinante para o acidente, a decisão das demais empresas envolvidas na execução da perfuração em acelerar a perfuração, fato que minimizou procedimentos de segurança, e levou ao corte de custos (HUBER, 2011).

As investigações feitas pela BP e instâncias governamentais americanas sobre o acidente indicam uma série de acontecimentos precedentes. Uma das principais causas apontadas foi a falha na avaliação da cimentação, de responsabilidade da Halliburton. Na composição do cimento foi utilizado nitrogênio, que pode ter se desprendido, deixando-o frágil para resistir à pressão do poço. Falhas também ocorreram na interpretação de testes de pressão negativa. A equipe de trabalho não identificou que alterações na densidade do fluido de circulação estavam sendo provocadas por um fluxo anômalo e elevado de petróleo do reservatório para o interior do poço. A mistura de fluido e hidrocarbonetos alcançou o riser e chegou aos tanques de lama, usadas nas operações, provocando vazamentos de óleo e gás no interior das unidades da plataforma, criando-se uma atmosfera explosiva. Em sequência ocorreram explosões, com perda de energia, em setores da plataforma. Os sistemas de detecção de gás e incêndio falharam nos locais não protegidos eletricamente. Também os sistemas de acionamento de emergência do BOP (*blow out preventer*), que fecha o poço para controlar o fluxo, provavelmente também por falta de energia, não funcionaram a contento. A continuidade do vazamento de petróleo levou à explosão da plataforma, gerando um incêndio que durou dois dias, quando então a plataforma afundou. O vazamento de óleo atingiu uma vasta área, afetando principalmente o litoral da Flórida, Louisiana, e Mississipi, nos Estados Unidos.

Para analisar as causas do acidente e identificar medidas para prevenção em situações futuras, a *National Academy of Engineering and National Research Council* (2012), dos Estados Unidos, montou um comitê, cujo relatório conclui que o acidente resultou de diversas falhas: de interpretação de dados e informações, de avaliações, de manutenções não realizadas, de planejamento e de treinamento de equipe. No mesmo documento o comitê prescreve uma série de procedimentos de construção de equipamentos e de procedimentos que as empresas devem seguir para melhoria das condições de operação e de segurança nas plataformas.

Um outro relatório, produzido pela *National Oil Spill Commission* (2011), mostra que o acidente poderia ter sido evitado se os fatores de risco tivessem merecido a atenção devida. O relatório conclui que as responsáveis pelo acidente são as empresas BP, Transocean e Halliburton; não só uma delas. O governo americano foi também responsabilizado por falhas de supervisão.

A comissão responsável por este relatório sugeriu um novo modelo regulatório, em que as empresas que realizam a perfuração sejam responsáveis pelas avaliações de risco. Quanto a isso, pode-se dizer que, a princípio, as especificações virão das empresas, para que depois possam ser adotados como padrões internacionais e leis, pelos órgãos reguladores.

O acidente com a *Deepwater Horizon* fez a comunidade internacional repensar se as legislações vigentes são realmente suficientes para garantir o pleno andamento da indústria em consenso com as normas de saúde, meio ambiente e segurança (HUBER, 2011). O caso do poço em Macondo tem mobilizado as autoridades para o aperfeiçoamento e elaboração de novos marcos regulatórios e procedimentos da indústria do petróleo.

6. RELAÇÃO ENTRE OS GRANDES ACIDENTES E OS MARCOS REGULATÓRIOS

Os primeiros modelos regulatórios internacionais de relevância – OILPOL 1954 e SOLAS 1960 – eram convenções que possuíam como objetivo a prevenção de acidentes. A OILPOL – *Oil Pollution* proibia a descarga de óleo em proporções maiores a 10ppm em áreas consideradas proibidas, em sua maioria

situadas no Hemisfério Norte. A SOLAS - Convenção para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, definia condições de segurança de navegação, de transporte de cargas a granel, de transporte de substâncias perigosas e navios nucleares. Esta convenção propunha um sistema de inspeções periódicas para minimizar incidentes.

O aumento da quantidade de petróleo transportada, por via marítima, no século XX, e a dinamização das atividades de exploração e produção levaram à ocorrência de diversos acidentes (mostrados nas Tabela 1 e 2). Estes acidentes motivaram a criação de novos marcos regulatórios, de modo que os atores envolvidos respondessem de forma eficaz, para minimizar ou evitar prejuízos. A Tabela 3 apresenta, em sequência temporal, os principais acidentes, e, em destaque, as normas e legislações decorrentes. No texto deste trabalho, por questão de espaço, são discutidos os exemplos mais importantes mostrados na tabela.

O acidente com o petroleiro *Torrey Canyon*, em 1967, que encalhou na Grã-Bretanha, e derramou 123 mil toneladas de óleo, evidenciou que a OILPOL carecia de leis que garantissem melhores proteções à vida humana e ao ambiente, devido a consequências e prejuízos provocados por este tipo de desastre. A partir deste acidente foram estabelecidas convenções para a compensação por danos causados pela poluição. Destacam-se a CLC 1969, que trata da responsabilidade dos proprietários de navios e a FUND 1971, Convenção de Bruxelas, que criou um fundo bancado pelas companhias de petróleo para custear os acidentes.

O Torrey Canyon também foi o acidente que levou a IMO – *International Marine Organization* [1973] a elaborar, em 1973, a MARPOL – *Marine Pollution* –, a convenção internacional para a prevenção da poluição acidental e de operações de rotina causada por navios.

Tabela 3: Linha do tempo com principais acidentes da indústria do petróleo e as convenções internacionais

Ano	*Acidente*/Convenção
1967	*Torrey Canyon, Grã-Bretanha.*
1969 1971 1973	CLC FUND MARPOL
1979	*Ixtoc One, Golfo do México.*
1982	UNCLOS
1988 *1989*	*Piper Alpha, Mar do Norte.* *Odyssey, Canadá.* *Exxon Valdez, Alasca.*
1990	OPA 90 (Instrumento Legal Norte-Americano) OPRC
1999	*Erika, França*
2000	ERIKA I e II (Instrumento legal europeu)
2002	*Prestige, Espanha.*
2002	PRESTIGE (Instrumento legal europeu)
2010	*Deepwater Horizon, Golfo do México.*
2013	BAST (Instrumento Legal Norte-Americano)

Obs.: Acidentes encontram-se em itálico.

Fonte: elaboração própria, com base em fontes diversas citadas nas referências.

Os acidentes que ocorreram na década de 1980 tornaram as legislações e convenções mais rigorosas no que diz respeito às normas de segurança, meio ambiente e saúde. Um exemplo importante a ser citado trata-se da explosão da plataforma *Piper Alpha* em 1988, no Mar do Norte, com 167 mortes; acidente que despertou importância para os sistemas de gerenciamento de segurança. A partir deste evento foram estabelecidos padrões na indústria a fim de garantir uniformidade e segurança na operação.

Outro caso exemplar é o acidente com o petroleiro *Exxon Valdez*, em 1989, que encalhou no Alasca, derramando 40 milhões de litros de petróleo, gerando expressivo impacto ambiental, social e econômico. Este acidente provocou mudanças e alterações em diversas normas internacionais de prevenção da poluição, dado que os americanos consideraram as normas vigentes insuficientes. Em 1990, foi criado o *Oil Pollution Act* (OPA 1990), a partir do qual todas as embarcações deveriam possuir cascos duplos, a fim de evitar vazamento de óleo em uma colisão.

Mesmo com normas mais rígidas, graves acidentes ainda ocorreram, como a explosão da plataforma *Deepwater Horizon* (2010), apresentada no texto; fato que mostra a necessidade de estudo das causas e consequências dos acidentes para aprimoramento dos novos marcos regulatórios.

Após a explosão da *Deepwater Horizon*, espera-se um novo marco regulatório mais rígido, com leis que demandem a responsabilidade das empresas pelas avaliações de risco, e que estimulem maior articulação e engajamento entre os órgãos reguladores, os governos, a sociedade e as empresas.

Seguindo os estudos realizados pelos órgãos oficiais americanos sobre as causas deste acidente, foi criado um comitê que elaborou um relatório com as mais adequadas e mais seguras tecnologias para a operação offshore – o BAST: *Best Available and Safest Technologies for Offshore Oil and Gas Operations*. Posteriormente, a *National Academy of Engineering and National Research Council* publicou, em 2013, um documento contendo as opções de implementação do BAST.

7. CONCLUSÃO

A expansão das atividades da indústria de petróleo no século XX foi acompanhada pela ocorrência de acidentes. Diversos destes acidentes ensejaram a criação de novos marcos regulatórios, seja para resguardar possíveis riscos de morte, danos materiais e impactos ambientais, seja para estabelecer novas práticas e procedimentos nas atividades da indústria.

Os acidentes possuem causas distintas. No entanto, muitas vezes, a pressão pela redução de custos acaba sendo um motivador comum para as mesmas, como a presença de casco simples no petroleiro Exxon Valdez e os cortes com dispositivos de segurança na plataforma *Deepwater Horizon* (National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, 2011).

A pertinência e relevância do estudo e compreensão das causas e consequências dos acidentes anteriores é significativa para os profissionais que atuam na indústria de petróleo no Brasil, pois, mesmo com normas, marcos regulatórios e controles mais rígidos, a exploração nas condições do Pré-Sal traz novos desafios tecnológicos. Em muitas circunstâncias, os engenheiros e técnicos lidarão com situações desconhecidas, ainda não estudadas. Portanto, um aprendizado pautado em estudos de casos e de exemplos do passado, diminui a possibilidade de repetição das mesmas causas responsáveis pelos acidentes, evitando expressivos impactos socioeconômicos e ambientais e perdas de vida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PROGRAD/UFF - Pró-Reitoria de Graduação da Universidade Federal Fluminense, pelo apoio financeiro à realização das atividades do PetroPET – Grupo Institucional de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo, no qual ocorreram os estudos que deram origem ao presente trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] ALVEAL, C. O Brasil e os novos rumos da indústria mundial de petróleo. Revista Brasileira de Energia, vol.9; nº1, p. 31-44, 2003.

[2] BOURGOYNE, A. T., MILHEIM, K. K., CHENEVERT, M. E., YOUNG, F.S. Applied Drilling Engineering. Society of Petroleum Engineers, 1986. SPE Textbook. Series, v. 2.

[3] GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2008.

[4] HUBER, R. C. Avaliação do Impacto das Legislações de SMS na Indústria de Petróleo e Gás. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo. Niterói: Universidade Federal Fluminense.

[5] IMO – International Marine Pollution. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). Disponível em <http:// https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx>. Acesso em 20.01.2021.

[6] National Academy of Engineering and National Research Council. Macondo Well-Deepwater Horizon Blowout: Lessons for Offshore Drilling Safety. Washington, *DC*: The National Academies Press, 2012.

[7] National Academy of Engineering and National Research Council. Best Available and Safest Technologies for Offshore Oil and Gas Operations. *Options for implementation.* Washington, *DC*: The National Academies Press, 2013.

[8] SHAH, S. A História do Petróleo. L&PM Editores: Porto Alegre, 2007.

[9] YERGIN, D. O Petróleo: Uma História de Ganância, Dinheiro e Poder. Editora Paz e Terra: São Paulo, 2010.

Capítulo 19

Controle antecipativo por estimativa de carga térmica em vídeo[2]

Mariana Pimentel Martins da Silva
Alexandre Saran Rodrigues
Adolfo Bauchspiess

Resumo: Um controlador antecipativo melhora o conforto térmico em ambientes prediais utilizando a estimativa da carga térmica de ocupação do ambiente. O número variável de pessoas em uma sala de reuniões (dimensões 3x5x3m3 , para até 20 pessoas) implica na variação da carga térmica do sistema de ar-condicionado. O controle antecipativo atua assim que a variação de pessoas no ambiente é observada. São implementadas técnicas de Visão Computacional (OpenCV) para contar o número de pessoas no ambiente. Sensores de temperatura na sala em estudo, na sala vizinha e no ambiente externo foram utilizados. Outras perturbações "convencionais" são rejeitadas da maneira usual pelo controlador PI que fecha a malha. Observou-se melhorias superiores a 10% no erro quadrático médio da temperatura. Além disso, os ensaios mostraram uma economia energética superior a 2,5% quando comparado ao controlador PI e a 24% quando comparado ao tradicional liga-desliga.

Palavras-chave: Automação predial; Controle antecipativo; Estimação de ocupação via video; Eficiência energética; HVAC.

[2] Artigo publicado previamente no congresso SBA2019, Ouro Preto/MG.

1. INTRODUÇÃO

Um ambiente devidamente climatizado é desejado ou, até mesmo, necessário em diversas situações (Dounis e Caraiscos (2009)). No contexto da vida urbana pós-moderna, os edifícios tornaram-se o centro das atividades de negócios e de prestação de serviços, sendo um dos principais pilares da vida urbana, dessa forma, tornar os edifícios mais agradáveis aos seus usuários e contribuir para um uso mais sustentável deve ser uma grande preocupação do século XXI. Este trabalho esta inserido no contexto dos, assim chamados, *smart buildings* em uma proposta de *smart cities*.

Visando o conforto térmico, em países tropicais como o Brasil, o uso destes aparelhos de ar-condicionado é comum. Temperaturas de conforto no ambiente de trabalho fazem parte da ergonomia e resultam em menos erros e maior produtividade, conforme Hedge et al. (2005).

A racionalização do consumo de energia elétrica tornouse extremamente importante. Segundo Coelho e Cruz (2017), estima-se que as edificações representam 46,7% do consumo total de energia elétrica no Brasil, tendo ainda grande potencial de racionalização.

Verificou-se que, em geral, sistemas térmicos são os que representam a maior parcela do consumo energético em edifícios. Assim, foram desenvolvidos ambientes inteligentes (AmI) com o objetivo de racionalizar o uso da energia elétrica, proporcionando uma maior economia financeira e conforto térmico. Nesse contexto atual de preocupação socioambiental, temos recentemente a etiquetagem dos prédios (PROCEL Edifica, selo LEAD). O impacto econômico será muito grande, pois apenas prédios com etiqueta "A" podem ser alugados pelos órgãos do governo.

Um ambiente inteligente fornece serviços aos seus ocupantes de forma praticamente invisível, em geral, utilizando uma rede de sensores e atuadores sem fio (e.g. IoT). O ajuste automático da potência do ar-condicionado ao número de ocupantes de uma sala de reuniões é um serviço AmI considerado nos seguintes trabalhos: Thomas et al. (2005), Reena et al. (2015) e Swaminathan et al. (2018).

Em trabalhos anteriores de eficiência energética da sala de reuniões, a estimação de ocupação foi feita via rastreamento de usuários com etiquetas RFID ativas (triangulação de RSSI de 5 leitoras e RNAs). Porém, os caminhos múltiplos de propagação *in-door* restringiram a precisão `a parcos 60%. A utilização de etiquetas RFID passivas também apresentou restrições, conforme abordado por da Cruz Figueredo et al. (2009). A estimação por visão mostrou-se bem mais robusta que os métodos anteriores.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para implementar um controlador antecipativo, conforme abordado por Liu et al. (2018), será estimada a perturbação térmica causada pela presença de pessoas no ambiente. A contagem das pessoas sera feita com base em *stream* de vídeo utilizando a técnica de subtração de fundos e processamento de imagens, amplamente utilizada em trabalhos como Hou e Pang (2011) e Yoshinaga et al. (2010).

2.1. ESTIMATIVA DE OCUPAÇÃO

A estimativa de ocupação é feita pelo balanço de pessoas que entram e saem do ambiente. Em cada sequência de imagens, em que se detectam pessoas, é necessário contar quantas pessoas entram e saem da sala. O passo-a-passo utilizado é descrito a seguir.

(1) Detecção da parte dinâmica: um subtrator de fundo permite distinguir a parte dinâmica da parte estatica de uma sequência de imagens. As partes em movimento são representadas por tons claros, que tendem ao branco, enquanto que as partes estáticas são representadas pela cor preta.

(2) Filtros: aplicam-se algumas operações morfológicas à imagem binarizada para retirar sombras cinzas, ou seja, o ruído. Em seguida, identificam-se os contornos nesta imagem (utilizando funções do *OpenCV*).

(3) Detecção de pessoas: uma maneira simples é considerar uma área mínima interior ao contorno.

(4) Rastreamento: conforme a pessoa move-se na sala, pode-se obter a informação de direção, ou seja, se a pessoa esta indo para cima ou para baixo, considerando-se a sequência de posições armazenadas.

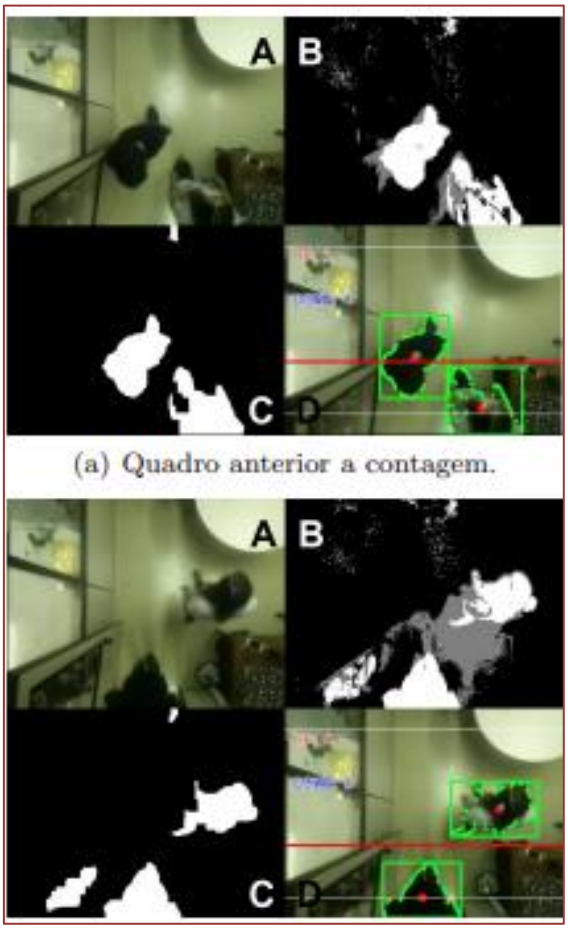
(5) Resultado: incremento ou decremento da ocupação. Para isso define-se uma linha na imagem para separar o ambiente interno do externo. A entrada de pessoas incrementa um contador *UP*, enquanto que a saída, um contador *DOWN*. Ja o número de pessoas da sala é dado pela diferença entre os contadores.

Alguns exemplos da aplicação do algoritmo de contagem de pessoas podem ser vistos nas figuras 1(a) e 1(b). Nesse exemplo, tem-se uma pessoa entrando na sala e outra pessoa saindo no mesmo momento. A figura 1(a) é anterior `a contagem das pessoas, enquanto que a figura 1(b) é posterior. Ao compara-las, verifica-se que os contadores *UP* e *DOWN* foram ambos incrementados, conforme o esperado.

2.2. CONTROLE ANTECIPATIVO

O controlador antecipativo tem como intuito considerar perturbações de modo que estas tenham pouco impacto sobre a variável controlada. Em técnicas de controle por realimentação negativa, `a medida que distúrbios w(t) diferentes entram no processo, a variável controlada c(t) desvia-se do ponto fixo e a realimentação negativa é compensada com base na variável de erro e(t). A vantagem do controle por realimentação é a sua simplicidade, porém, sua desvantagem é que para rejeitar perturbações, a saída do sistema deve, antes, divergir da referência, caracterizando-se por uma ação corretiva.

Figura 1. Balanço de ocupação: A - Imagem original. B - Subtração de fundo. C - Eliminação de ruído, D - Limiar de decisão: linha vermelha. Imagem (a): Iminência de uma pessoa entrar e outra sair da sala. Imagem (b): Uma pessoa entrou e uma pessoa saiu.



(a) Quadro anterior a contagem.

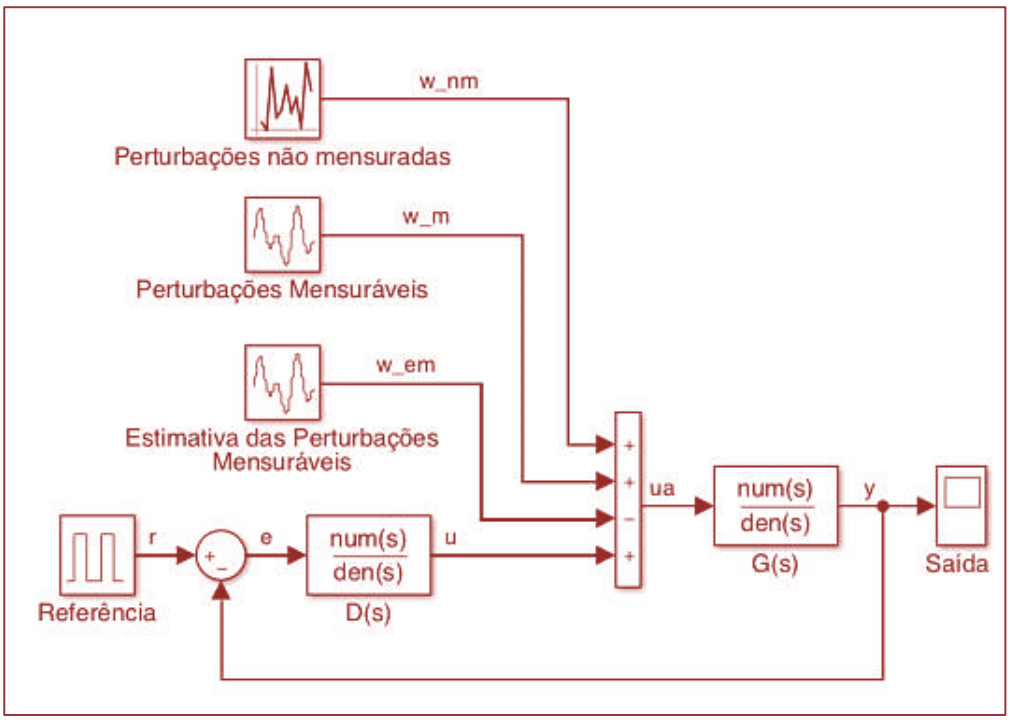
O controle antecipativo requer uma medição ou estimação das perturbações antes que estas influenciem a saída da planta. Essa abordagem é muito útil na área de controle de processos. Visto que sistemas de fluidos apresentam uma dinâmica lenta que, sob efeito de perturbações, podem gerar maiores erros durante um longo período de tempo segundo Smith e Corripio (2008).

Um diagrama de blocos que representa uma malha de controle com um controlador antecipativo pode ser observado na figura 2.

O controlador antecipativo possui a mesma resposta `a referência que um controlador convencional. A diferença está na resposta `as perturbações.

Um sistema térmico possui dinâmica lenta. Com a informação adquirida em tempo real, o controlador antecipativo é capaz de ajustar a potência do compressor de modo a garantir que a temperatura se mantenha na referência, mesmo com uma perturbação incidente na planta. Um controlador PI, com modução PWM do compressor será utilizado em conjunto com a compensação antecipativa das perturbações.

Figura 2. Controle antecipativo e perturbações



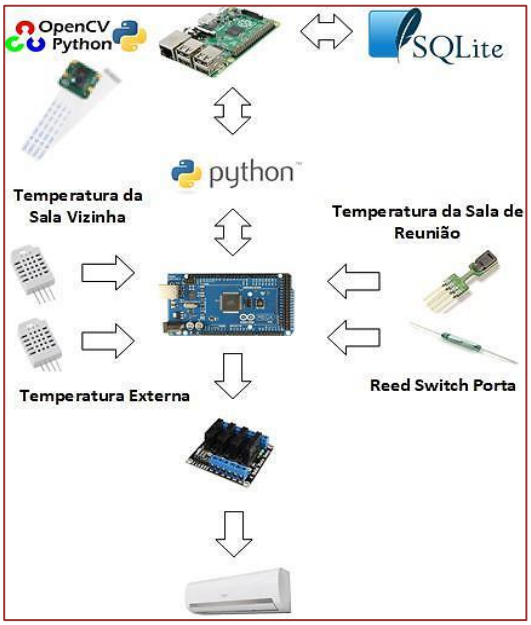
3. METODOLOGIA

O sistema conta com uma câmera para implementar algoritmos de visão computacional visando a contagem do número de pessoas utilizando Python e *OpenCV*.

Informações adicionais como a temperatura em pontos estratégicos são obtidas com a utilização de sensores de temperatura SHT71 e DHT22, que enviam dados digitais a um Arduino Mega, responsável pela leitura dos dados e acionamento dos atuadores. Utilizou-se, ainda, um *reed switch* para verificar se a porta estava fechada (uma premissa para os testes realizados).

O sistema projetado possui uma central de processamento, o *Raspberry Pi,* responsável pelo controle propriamente dito do sistema, que consiste em uma compensação da perturbação estimada associado ao clássico controlador PI.

Figura 3. Conexão dos materiais e ferramentas



A ação de controle gerada faz com que o Arduino acione um relé de estado sólido, atuando sobre o compressor do ar-condicionado. O controle, na prática, se dá através de um sinal PWM que ajusta a potência do compressor de modo a garantir maior eficiência energética e conforto térmico. Os resultados obtidos são salvos no *SQLite*, o banco de dados selecionado para a aplicação. A figura 3 demonstra o diagrama de conexão entre os dispositivos e ferramentas utilizadas.

3.1. AMBIENTE DE TESTE

A sala de reuniões do Laboratório de Robótica e Automação da Universidade de Brasília foi utilizada para implementar o sistema proposto, podendo ser vista na figura 4. A sala possui divisórias simples de vidro para as salas vizinhas, sendo bastante influenciada pela temperatura destas. Ainda, a posição da janela faz com que a incidência solar seja maior no fim da tarde, gerando uma maior influência do ambiente externo sobre o laboratório.

Figura 4. Sala de reunião do LARA - ambiente controlado

Para contagem de pessoas optou-se por utilizar uma vista superior, tanto para aumentar o campo de visão, como para reduzir o efeito da oclusão. Utilizou-se, ainda, um algoritmo de subtração de fundo para a contagem das pessoas.

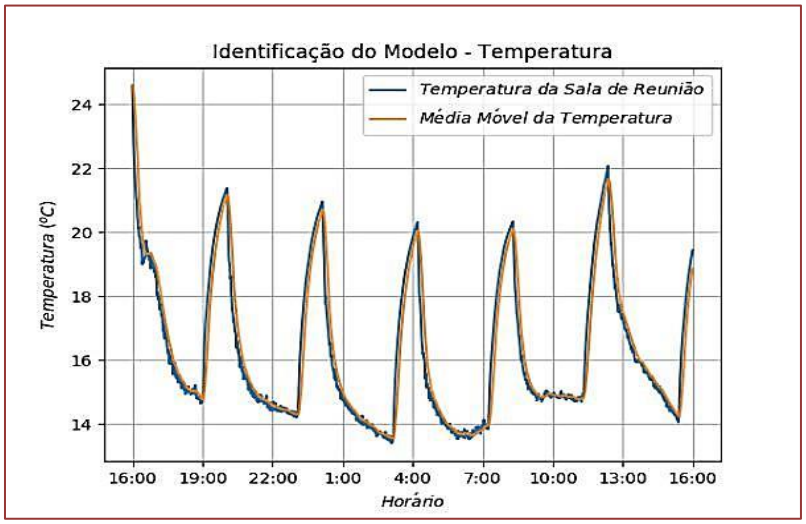
3.2. IDENTIFICAÇÃO DA PLANTA

Para projetar o controlador PI, a planta foi excitada utilizando-se uma referência que alterna 3 horas ligado com 1 hora desligado, ao longo de um dia completo de operação. O ideal, do ponto de vista da identificação, seria utilizar um sinal pseudo-aleatório (e.g.,PRBS), para que fosse possível caracterizar de forma isenta tanto o regime permanente quanto o transitório. No entanto, há restrições do aparelho de ar condicionado e o compressor não deve ser religado em intervalos muito pequenos (redução da vida útil se ainda há pressão do gás).

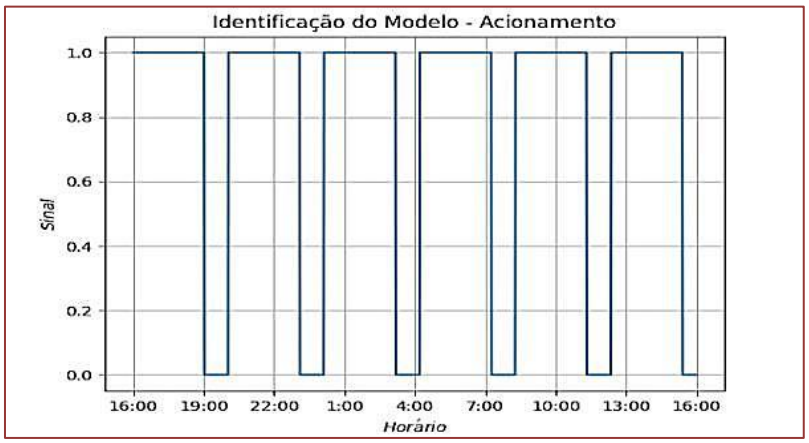
As figuras 5(a) e 5(b), mostram os sinais utilizados na identificação: temperatura medida na sala de reunião (com sua média móvel, visando facilitar sua visualização) e o acionamento do compressor, ou seja, os períodos em que o ar-condicionado está ligado (sinal = 1) ou desligado (sinal = 0).

O sistema apresenta uma resposta de primeira ordem com atraso que tende a resfriar o ambiente até uma temperatura aproximada de 14oC (correspondente `a temperatura do gás na serpentina do aparelho de ar-condicionado). Também foi possível notar uma relação entre a temperatura mínima atingida em cada ciclo e as temperaturas dos ambientes vizinhos e externo.

Figura 5. Sinais medidos em 20/10/18



(a)Temperatura da Sala de Reuniões



(b)Acionamento do Compressor.

Para a identificação do sistema, utilizou-se a toolbox de identificação de modelos dinâmicos do M atLabTM *System Identification*. Utilizou-se 70% dos dados colhidos ao longo de um dia para identificação e os 30% restantes como validação. Modelou-se uma saída esperada em um formato baseado em (1):

$$G(s) = \frac{K}{S+1} e^{S-,} \qquad (1)$$

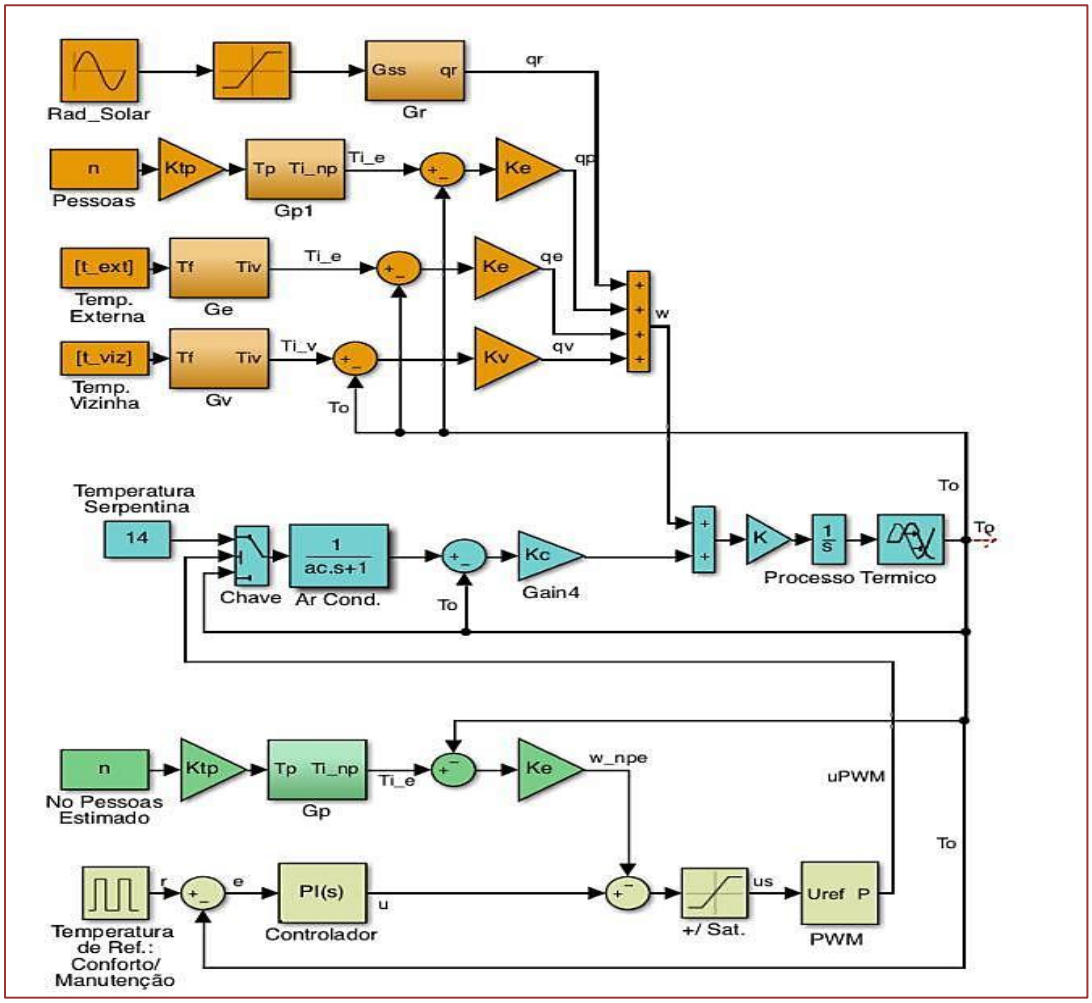
onde K = 0, 36783, τ = 798.84 s (13, 314 min) e θ = 3.9 s (0, 065 min). Substituindo os valores encontrados tem-se (2):

$$G(s) = \frac{0;36783}{798;84s+1e3:9s} \qquad (2)$$

Com isso, nota-se que a constante de tempo do sistema é, aproximadamente, 13 minutos. Além disso, existe um atraso próximo a 4 segundos, entre o envio do sinal ao compressor e o início do resfriamento do sistema. O modelo de primeira ordem identificado apresentou um *fit* de 95, 38%.

A figura 6 mostra o modelo *Simulink* utilizado para as simulações. As perturbações simuladas são devidas ao número de pessoas que ocupam a sala, a radiação solar, a temperatura externa e a temperatura das salas vizinhas. As dinâmicas de 1o ordem Gp(s), Gr(s), Ge(s), Gv(s), foram identificadas em trabalhos anteriores. Nota-se que a variável manipulada conecta a temperatura da serpentina (T = 14oC) ou a temperatura da sala (T = T0) como entrada do processo (malha aberta) por meio de uma chave.

Figura 6. Diagrama de blocos do controle antecipativo. Modelo do processo em azul, no meio. Perturbações acima, em laranja. Controle de malha fechada em amarelo. Estimação de carga térmica, em verde



Em azul, tem-se o ar-condicionado. Ele é modelado como um atraso seguido de um sistema de primeira ordem. Esta estrutura (baseada em princípios fundamentais) possibilita trabalhar com fluxos de calor (condução e convecção são proporcionais à diferenças de temperatura, e.g., T iv − T o, T ie − T o, etc).

Em laranja, por sua vez, pode-se ver as perturbações consideradas no sistema térmico. Elas são as influências das pessoas, da temperatura externa e da temperatura das salas vizinhas. Existe uma dinâmica associada a cada uma delas. A radiação solar é uma perturbação proporcional a T(K) 4 , e não depende da temperatura da sala. Em amarelo aparece o controle em malha fechada convencional enquanto a estimação da carga térmica por ocupantes da sala aparece em verde.

3.3. CONTROLADORES TRADICIONAIS

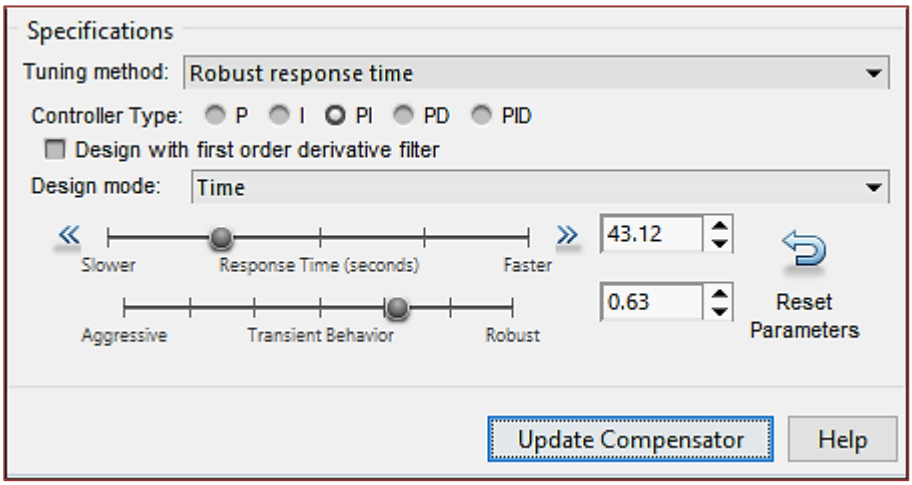
Foram projetados controladores de malha fechada ligadesliga e PI para utilizar como base de comparação.

Liga-Desliga: O algoritmo do controlador liga-desliga é dado por:

- ligar se y > 23, 3;
- desligar se y < 22, 7;
- manter o estado anterior caso 22, 7 < y < 23, 3

PI: Para a implementação do controlador PI, utilizouse a ferramenta *sisotool do Matlab*. Nela, realizou-se a sintonia do controlador por meio do método da Resposta Robusta no Tempo. Idealmente, esse método fornece um controlador com velocidade máxima na resposta e com regime transiente sem oscilações. Todavia, esta abordagem se torna ineficiente em sistemas reais, graças às nãolinearidades do sistema e limitações físicas dos atuadores. Foi então projetado um controlador com um regime transiente mais suave (fazendo com que o atuador seja menos solicitado), preservando sua vida útil; já o tempo não foi um fator de grande preocupação, uma vez que a dinâmica do sistema fornecia margem para um controle com uma resposta mais lenta. As configurações para a especificação podem ser vistas na figura 7.

Figura 7. Especificação para a sintonia do controlador PI realizada no Matlab



A função de transferência do controlador PI projetado pode ser vista em (3):

$$G(s) = \frac{0;12s+1;56}{s}: \qquad (3)$$

3.4. CONTROLADOR ANTECIPATIVO

O controle antecipativo trabalha em conjunto com um controlador PI.
Uma vez que o sistema estava instalado, implementouse uma funcionalidade de apenas ligar o ar-condicionado quando havia pessoas na sala de reuniões, ou seja, para situações em que a sala estivesse vazia, o sistema desligava. Para fins teste, foram considerados o controlador antecipativo com e sem essa funcionalidade.

3.5. MÉTRICAS

Como a temperatura externa, a temperatura da sala vizinha e o número de pessoas influenciam o comportamento do sistema, tornou-se relevante desenvolver uma métrica para facilitar a comparação entre os ensaios. A métrica foi construída utilizando-se como base as integrais definidas das temperaturas externa, da sala vizinha e do número de pessoas durante o ensaio. Foi criado o chamado índice de Balanço Térmico (IBT), que correlaciona as variáveis de perturbação com base nas integrais e nos ganhos de influência estimados em simulação. O IBT é dado por (4), mostrada a seguir:

$$IBT = \frac{I_e + I_v + I_{np}}{t - t_0}, \quad com\ I_j = K_j \int_{t_0}^{t} (T_j - T_{ref})dt,\ j = e, v, np. \tag{4}$$

Onde Te é a temperatura externa, Tv, a temperatura da sala vizinha, Tp, a temperatura média de uma pessoa e Np, o número de pessoas. Já Ke, Kv e Knp são os ganhos adimensionais que representam a influência da perturba- ção na dinâmica da sala, ou seja, quanto maior esses ganhos, maior será o peso da determinada perturbação na temperatura. Por fim, Ie, Iv e Inp são as influências estimadas do ambiente externo, sala vizinha e do número de pessoas, respectivamente.

Também foi analisado o erro do sistema utilizando a fórmula da raiz do erro médio quadrático (RMSE), mostrada em (5):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(T_{ref,i} - T_{medida,i})^2}{N}} \tag{5}$$

onde Tref é a temperatura de referência para o sistema de controle (no trabalho em questão, é de 23oC); já a Tmedida é a temperatura medida na sala de reunião durante o experimento.

Já a melhoria percentual do ensaio é medida com base na equação 6:

$$M_{RMSE}\% = \frac{RMSE_{tradicional} - RMSE_{antecipativo}}{RMSE_{tradicional}} \times 100$$
$$M_E\% = \frac{E_{tradicional} - E_{antecipativo}}{E_{tradicional}} \times 100 \tag{6}$$

O MRMSE% é a melhoria percentual no erro quadrático médio do sistema e M energética % é a melhoria percentual na economia energética.

4. RESULTADOS

O comportamento do sistema com o controlador ligadesliga pode ser visto na figura 8. Pode-se notar que o controlador seguiu bem a referência, mantendo um erro de aproximadamente ±0, 5 oC. Houve um desvio da referência por volta das 16h, provocado pelo aumento da temperatura externa. O controlador se manteve saturado durante grande parte do experimento. O gasto energético foi de 7, 93 kW h. Calculou-se ainda o IBT com base em (4), com um valor de 8, 63. Já o RMSE, calculado por (5), resultou em 0, 38ºC.

Na figura 9, tem-se os resultados da implementação do controlador PI no sistema. E possível notar na figura 9(a) ´ que a média móvel varia chegando a um erro máximo de aproximadamente ±0, 3ºC em

relação à referência. Na primeira metade do ensaio, o acionamento do compressor é pouco intenso devido a baixa temperatura externa e da sala vizinha, conforme visto na figura 9(b). Já em relação ao número de pessoas presente na figura 9(c), nota-se um número baixo de pessoas durante o dia, gerando picos de 4 ocupantes. O horário entre 13 e 14 horas mostra um dos picos do dia, e nota-se que nesse horário, há um erro grande na temperatura da sala e perturbações de temperatura não tão grandes. Esse fenômeno é um indício da perturbação térmica gerada pelo número de pessoas afetando a resposta do controlador. Finalmente, mediu-se o gasto energético e calculou-se o índice de dificuldade do teste. O gasto foi de 6, 16 kW h. Pelo cálculo de (4), conclui-se que a dificuldade estimada do ensaio foi 2, 7. Já o RMSE calculado foi igual a 0, 42^{o}C.

Figura 8. Controlador liga-desliga(sem mudança de referência para sala vazia). Medido em 01/12/18

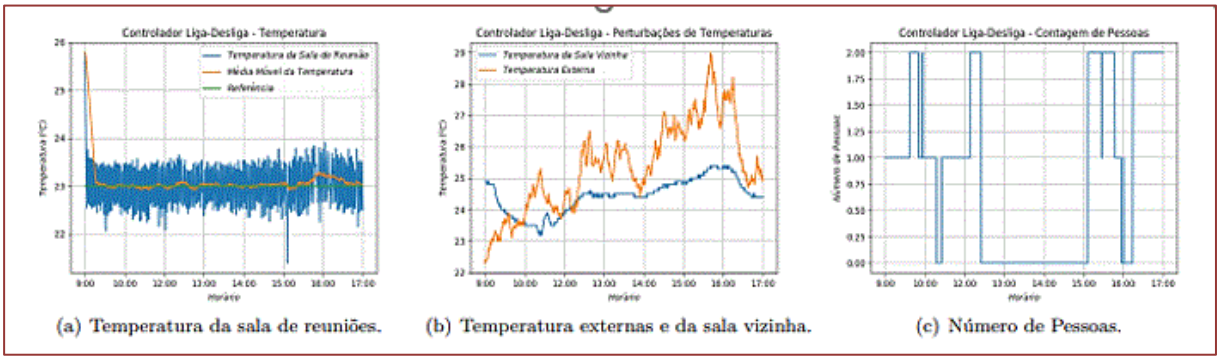
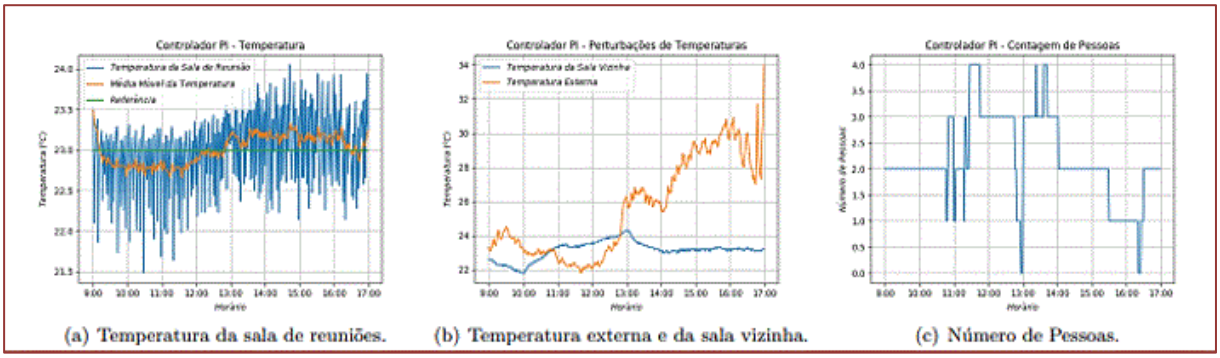


Figura 9. Controlador PI (sem mudança de referência para sala vazia). Medido em 26/11/2018



O resultado do ensaio com o controlador antecipativo pode ser visto na figura 10. Ao relacionar a temperatura da sala, disponível na figura 10(a) com as perturbações de temperatura, figura 10(b), vê-se uma forte influência da temperatura externa e da sala vizinha na saída. Mas ao observar o número de ocupantes na sala, figura 10(c), vêse que o sistema é pouco sensível a essa perturbação. Esse ensaio utilizou 6, 00 kW h. Além disso, o ensaio obteve um IBT igual a 6, 07. Com um RMSE de 0, 35oC.

A figura 11 sintetiza os resultados do controlador com a funcionalidade de aumentar a temperatura de referência quando não há pessoas presentes na sala. Pode-se ver, na figura 11(a), que a temperatura da sala de reunião seguiu a referência definida de 23^{o}C sempre que haviam pessoas na sala. Segundo a figura 11(c), das 9 horas e 20 minutos até as 11 horas e 40 minutos não haviam pessoas na sala, então, a referência foi modificada para 30^{o}C com o objetivo de reduzir o gasto energético. Ao relacionar as informações de número de pessoas, mostrada na figura 11(c), com a temperatura da sala de reunião, mostrada na figura 11(a), vê-se que a influência do número de pessoas no sistema é praticamente nula. Mesmo nos picos de ocupação da sala, que chegava a conter 6 ou 7 pessoas ao mesmo tempo, o sistema seguiu a referência conforme especificado. Ao fim do experimento, mediu-se o gasto energético. Esse gasto foi de 5, 81 kW h. Pelo cálculo de (4), conclui-se que a dificuldade estimada do ensaio foi 8, 71, sendo o ensaio mais difícil realizado. Além disso, obteve-se um RMS de 0, 37oC.

Os principais indicadores utilizados para metrificar as respostas dos controladores implementados estão resumidos na tabela 1, para facilitar a comparação. Já na tabela 2, pode-se ver a melhoria percentual do controlador proposto em relação aos controladores tradicionais liga-desliga.

Tabela 1. Comparação Controladores

Controlador	kWh	IBT	RMSE
Liga-Desliga	7,92	8,63	0,42
PI	6,16	2,70	0,42
Antecipativo referência xa	6,00	6,06	0,35
Antecipativo referência variável	5,81	8,71	0,37

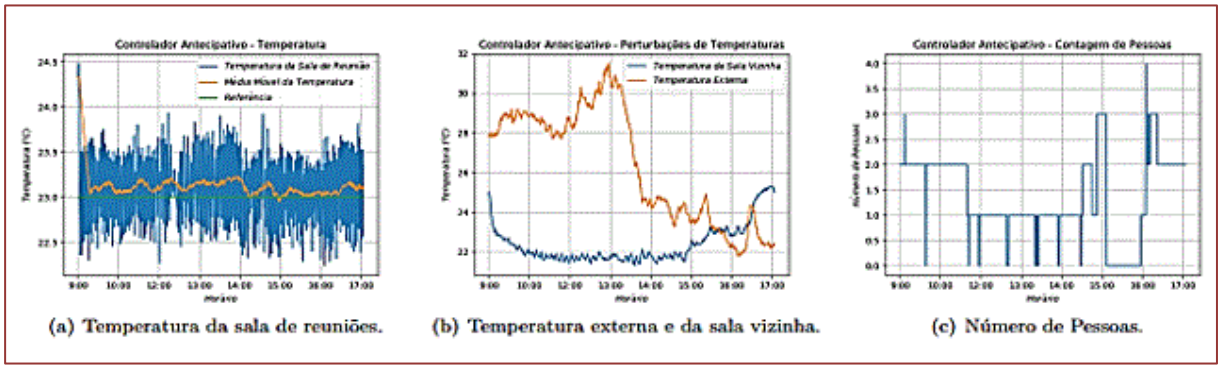
Tabela 2. Melhoria do Antecipativo

Referência xa	Erro	Energia
Liga-Desliga	16,66%	24,24%
PI	16,66%	2,6%
Referência Variável	**Erro**	**Energia**
Liga-Desliga	11,90%	26,64%
PI	11,90%	5,8%

5. CONCLUSÕES

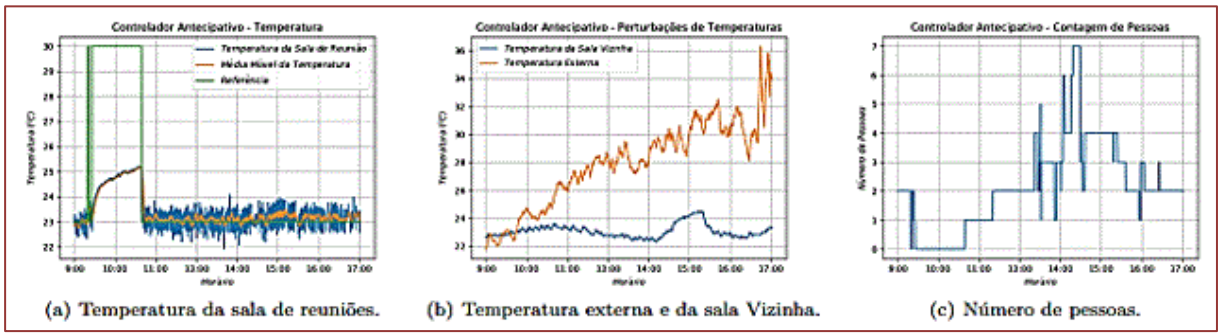
O controle antecipativo mostrou ganho real em termos de conforto térmico e consumo de energia. A contagem do número de pessoas, mesmo considerando que todas as pessoas produzem a mesma quantidade de calor, produziu melhorias expressivas no controle. O algoritmo de visão computacional empregado não consegue, no entanto, contar corretamente pessoas, quando estas estão muito próximas umas das outras ou quando a entrada no ambiente ocorre de forma muito rápida.

Figura 10. Controlador antecipativo (sem mudança de referência para sala vazia). Medido em 03/12/18



(a) Temperatura da sala de reuniões. (b) Temperatura externa e da sala vizinha. (c) Número de Pessoas.

Figura 11. Controlador antecipativo (considerando mudança na referência para sala vazia). Medido em16/11/18



(a) Temperatura da sala de reuniões. (b) Temperatura externa e da sala Vizinha. (c) Número de pessoas.

O controlador antecipativo implementado associa o número estimado de pessoas no ambiente `a variação da carga térmica, antecipando-se ao controle PI de malha fechada. A modulação PWM com ciclo de 4 minutos permite utilizar um controlador contínuo num processo que só prevê operação liga-desliga. As pequenas oscilações de temperatura não chegam a ser percebidas pelos usuários do ambiente. Mesmo com grande variação do número de pessoas o controlador antecipativo em conjunto com a realimentação PI se mostrou bastante eficaz. E uma solução interessante para ambientes prediais com ocupação variável, reduzindo o custo energético e melhorando o conforto térmico. Outros métodos de estimação da ocupação, como RFID ou *Wi-Fi* poderiam ser investigados ou combinados com o método visual empregado.

REFERÊNCIAS

[1] Coelho, D.F.B. e Cruz, V.H.d.N. (2017). Eficiência energética nas edificações. São Paulo: Blur, 61 –88. da Cruz Figueredo, L.F., do Couto, F.L., e Bauchspiess, A. (2009). An evaluation of rssi based indoor localization systems in wireless sensor networks. SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.

[2] Dounis e Caraiscos (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1246–1261.

[3] Hedge, A., Sakr, W., e Agarwal, A. (2005). Thermal effects on office productivity. 49(8), 823–827.

[4] Hou, Y.L. e Pang, G.K. (2011). People counting and human detection in a challenging situation. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: systems and humans, 41(1), 24–33.

[5] Liu, L., · Tian, S., · Xue, Dingyu and· Zhang, T., e · Chen, Y. (2018). Industrial feedforward control technology: a review. J. of Intelligent Manufacturing, Feb. 2018, 1–15

[6] Reena, K.E.M., Mathew, A.T., e Jacob, L. (2015). An occupancy based cyber-physical system design for intelligent building automation. 2015, 1–15

[7] Smith, C.A. e Corripio, A.B. (2008). Princípios e Prática do Controle Automático de Processo. LTC, RJ.

[8] Swaminathan, S., Wang, X., Zhou, B., e Baldi, S. (2018). A university building test case for occupancy-based building automation. 11, 1–15.

[9] Thomas, B., Soleimani-Mohseni, M., e Fahlén, P. (2005). Feed-forward in temperature control of buildings. Energy and Buildings, 37, 755–761.

[10] Yoshinaga, S., Shimada, A., e Taniguchi, R.i. (2010). Realtime people counting using blob descriptor. ProcediaSocial and Behavioral Sciences, 2(1), 143–152.

Capítulo 20

A simulação computacional no ensino da temática de Terra como corpo cósmico

Jefferson Oliveira do Nascimento
Italo Gabriel Neide
Sônia Elisa Marchi Gonzatti
Marcelo Albano Moret

Resumo: Seja na educação básica, educação profissional ou nível superior, os conteúdos físicos ainda são apresentados, muitas vezes, de forma tradicional, sendo reproduzidos a partir de materiais instrucionais de forma estática e pouco contextualizada. Assim, este artigo tem como objetivo apresentar resultados de uma proposta metodológica, para o ensino de Leis de Kepler e Lei da Gravitação Universal de Newton. Estes conteúdos integram a temática de Terra como corpo cósmico, necessária para o ensino de fenômenos astronômicos. Foi utilizado para simulação computacional o software My Solar System, um Objeto de Aprendizagem. A pesquisa de abordagem qualitativa, ocorreu por meio de uma intervenção pedagógica com alunos de uma turma de PROEJA (Educação de Jovens e Adultos integrada à Educação Profissional). Durante o processo de intervenção, verificou-se indícios de aprendizagem significativa por parte dos discentes no que se refere à compreensão dos conceitos supracitados. Assim, é possível argumentar que a proposta desenvolvida apresentou-se como um material potencialmente significativo.

Palavras-chave: Simulação computacional, Objetos de aprendizagem, Ensino de Física.

1. INTRODUÇÃO

A física é uma disciplina importante, seja na educação básica ou em muitos currículos em nível superior. Contudo, devido à abordagem pedagógica com que é apresentada aos alunos, o resultado nem sempre é satisfatório, ocorrendo em muitas situações a reprovação e a consequente evasão do ambiente de aprendizagem [1]. Esta constatação, faz com que os alunos, quando chegam às universidades e/ou ao mercado de trabalho, levem as deficiências de aprendizagem adquiridas na educação básica [1].

Nessa direção, constatamos por meio de nossas práticas profissionais que, nos diversos níveis de ensino (educação básica e nível superior), os fenômenos astronômicos correspondem a um dos conhecimentos científicos que mais se destacam em serem aprendidos de forma equivocada. Moreira [2] indica que dentro desta temática, as estações do ano, possivelmente, apresentam-se como o fenômeno em que mais ocorrem erros conceituais por parte de alunos e professores. Embora seja do cotidiano das pessoas, a compreensão das estações do ano exige a integração de diferentes conceitos, entre eles, situar a Terra como corpo cósmico e desenvolver um modelo tridimensional para o sistema Sol-Terra [3,4].

Diante desta realidade, para o entendimento não apenas das estações do ano, mas dos demais fenômenos astronômicos, deve haver por parte do aluno, primeiramente um aprendizado significativo dos conteúdos físicos referentes à temática de Terra como corpo cósmico [4]. Norteados por esse pressuposto, este artigo tem por objetivo apresentar alguns resultados da pesquisa de dissertação de mestrado do primeiro autor, que constituiu uma proposta uma metodológica de ensino dos conteúdos referentes à temática de Terra como corpo cósmico e fenômenos astronômicos (com ferramentas tecnológicas).

Para o presente artigo, apresentamos resultados pela utilização do *software My Solar System*, que corresponde a um objeto de aprendizagem. De acordo com Nascimento [4] e Nascimento, Neide e Gonzatti [5], há dificuldades no processo de ensino e aprendizagem desses assuntos na Educação Básica e para alguns cursos em Nível Superior (que abrangem Física/Astronomia). Assim, entendemos ser importante investigar as concepções sobre essa temática em uma outra modalidade de ensino, neste caso, com alunos do PROEJA (Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na modalidade de educação de jovens e adultos).

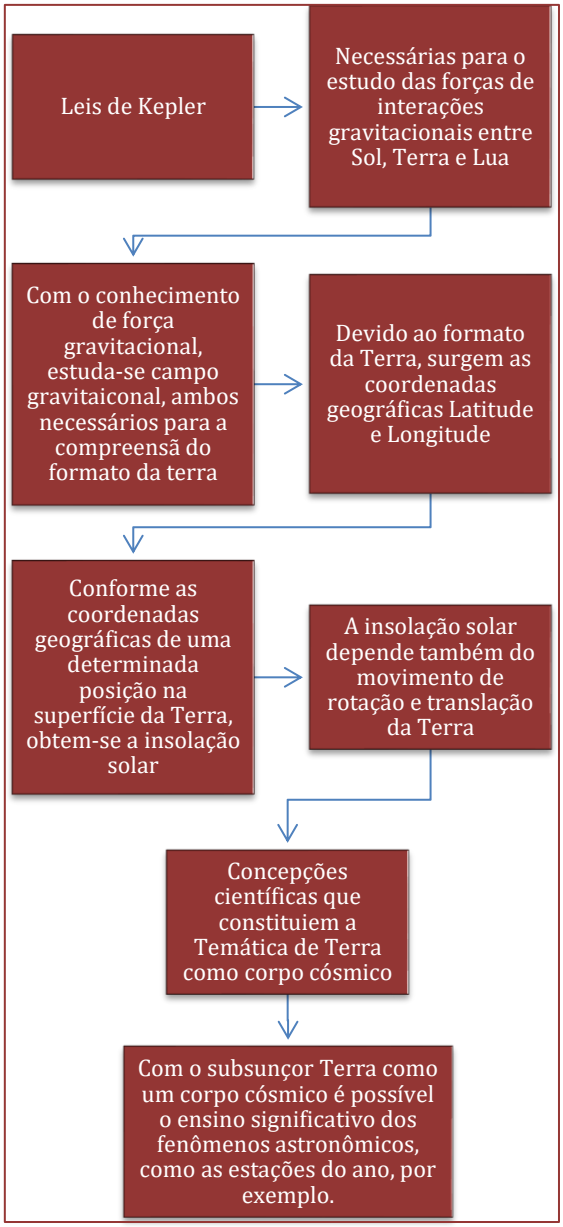
2. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A TEMÁTICA DE TERRA COMO CORPO CÓSMICO

A presente pesquisa está alicerça na aprendizagem significativa de Ausubel. Ela é um processo cujo produto resultante é a aquisição de novos significados pelo aprendiz [6]. Durante o período de aprendizagem, uma nova informação interage de maneira substantiva e também de forma não arbitrária, com subsunçores importantes já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Norteados em Ausubel [6], realizamos a investigação de buscar os subsunçores que deveriam estar presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, para que a temática de fenômenos astronômicos, pudesse ser ancorada. Encontramos respostas[3] em Nussbaum [3], Nascimento [4], Nascimento, Neide e Gonzatti [5] Nussbaum e Novak [7], Gonzatti [8]. Para estes autores a resposta corresponde à temática de Terra como um corpo cósmico. Para Gonzatti [8] e Nascimento [4], estudar a temática de Terra como corpo cósmico, significa abordá-la por meio de sua forma, seu campo gravitacional, seus movimentos e os fenômenos astronômicos decorrentes desses movimentos e da configuração do sistema Terra-Sol-Lua, como por exemplo, dias, noites, estações do ano, fases e eclipses lunares, ou seja, a sua interação com outros astros cósmicos. Diante da necessidade do prévio aprendizado desta temática, destacamos neste artigo os seguintes assuntos: Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton, que além integrarem o subsunçor Terra como um corpo cósmico, apresentam mútua importância para este conhecimento prévio, conforme Figura 1:

[3] Em Nascimento [4] são indicadas as demais obras para este resultado.

Figura 1 – Importância das Leis de Kepler e da Lei da Gravitação Universal de Newton à temática de Terra como corpo cósmico e os fenômenos astronômicos. Fonte: Adaptado de Nascimento, Neide e Gonzatti [9]



Conforme Figura 1, as Leis de Kepler e a Lei da Gravitação Universal de Newton correspondem a conhecimentos fundamentais dentro da temática de Terra como corpo cósmico. Diante dessa observância e a necessidade de explorar os conceitos subsunçores antes do estudo de fenômeno astronômicos, este artigo apresenta alguns resultados de uma proposta metodológica que utilizou o software *My solar Systems* (um objeto de aprendizagem), para o ensino das Leis de Kepler e Lei da Gravitação Universal de Newton. Para Spinelli [10] esses objetos podem tanto englobar um determinado conceito da ciência a ser ensinada, no caso a Física, quanto toda a teoria a ser abordada e ainda "compor um percurso didático, envolvendo um conjunto de atividades, focalizando apenas determinado aspecto do conteúdo envolvido".

De acordo com Araujo [11] os objetos de aprendizagem constituem ferramentas de simulações computacionais. Na simulação de um determinado modelo físico, é permitido apenas inserir valores e alterar parâmetros e, consequentemente, verificar os resultados em relação as variáveis inseridas [11]. Não há possibilidade de alteração do modelo matemático que originou a simulação, cabendo ao aluno apenas explorá-lo.

O repositório de objetos de aprendizagem escolhido, correspondeu às simulações interativas do Projeto *Physics Educacional Technology* (*PhET*), da Universidade do Colorado. O que norteou nossa escolha foi a

divulgação científica existente em relação a estas simulações, com expressivos resultados de impacto positivo no ensino de Física, expostos em Arantes, Miranda e Studart [12], dentre outros. Para esses autores, dois fatores são expressivos para a utilização destas simulações do *Phet*: a facilidade de acesso via internet (disponíveis de forma gratuita, no endereço http://phet.colorado.edu) e a fácil interação pelos alunos.

Os participantes da pesquisa, corresponderam a alunos do PROEJA de uma escola estadual de Educação Tecnológica do Pará. No caso do ensino médio, caracteriza-se pela oferta Integrada (ensino médio e ensino profissional concomitantes), específica para a Educação de Jovens e Adultos (EJA). O público deve ter idade igual ou superior a 18 anos [13]. Trinta alunos com idades entre vinte e cinco e cinquenta e cinco anos participaram da pesquisa. Todos pertenciam a uma turma de PROEJA Técnico em Informática, sendo quatorze homens e dezesseis mulheres, com faixa etária entre 25-55 anos.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

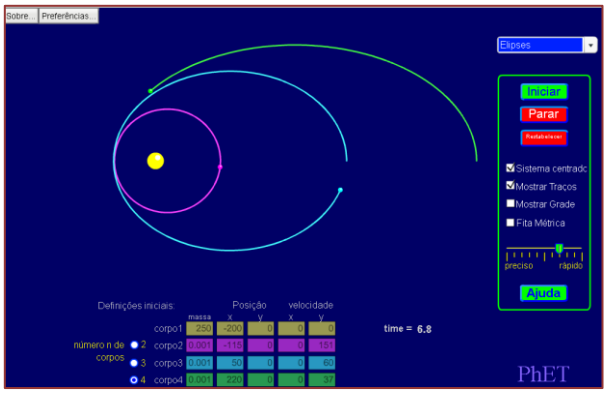
Em busca de possíveis respostas em relação ao Ensino de Física por meio do *software My Solar System*, alicerçamo-nos em pressupostos da pesquisa qualitativa, com a realização de um estudo de caso. Este estudo pode ser caracterizado por uma visão investigativa ampla, por meio de nuances verificadas em um único, em poucos ou vários objetos de estudo [14]. Orientados pelo supracitado autor, realizamos uma inserção junto ao espaço social pesquisado (sala de aula) e de forma cuidadosa e sistemática, registramos o que ocorreu durante a pesquisa, por meio de anotações no diário de campo e do roteiro de questões. Posteriormente realizamos uma análise utilizando as narrativas e transcrições literais captadas dos participantes da pesquisa durante o período de aplicação da proposta metodológica desenvolvida.

A presente investigação faz parte de uma pesquisa estruturada da seguinte maneira: realizou-se um pré-teste semiestruturado, para verificarmos os conhecimentos prévios dos alunos e orientar o desenvolvimento da intervenção. Na sequência, realizamos cinco encontros (totalizando 20 horas-aula) como organizadores prévios, que são "[...] materiais introdutórios, apresentados antes do próprio material a ser aprendido, porém, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que esse material" [2]. Os conteúdos correspondem aos apresentados na Figura 1. Após estas etapas, realizamos as aulas com ferramentas tecnológicas (Objetos de Aprendizagem e o *Software Modellus*, com assuntos elencados na Figura 1). Ao fim da pesquisa foi realizado um pós-teste. Devido a extensão da intervenção realizada, ressaltamos que neste artigo, descrevemos um encontro (total de 4 horas-aula), que utilizamos o Objeto de Aprendizagem *My Solar System*, para o estudo das Leis de Kepler e da Força de interação Gravitacional, em que suas importâncias já foram destacadas no tópico anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das respostas dos alunos foram realizadas a partir do exercício pertencente ao roteiro elaborado para utilização do *software My Solar System*, respondidos por eles. Neste artigo, referimo-nos aos discentes do PROEJA por aluno **A1**, **A2, A3** e assim sucessivamente. A seguir, as análises realizadas, baseadas na atividade desenvolvida para a utilização do *software My Solar System* (Figura 2):

Figura 2 – Software My Solar System



Fonte: Do software.

A primeira questão do roteiro solicitava que os alunos reproduzissem, conforme a visualização da simulação (Figura 2), a forma mais coerente com movimento de translação da Terra ao redor do Sol. Todos os alunos cumpriram com satisfação esta solicitação. A segunda questão abordou que, se a trajetória visualizada (em uma segunda simulação), poderia descrever o sistema Sol-Terra. Essa simulação apresentava uma trajetória elíptica, cuja excentricidade era menor que a primeira simulação. Novamente, todos os alunos responderam com a trajetória de menor excentricidade. Para a trajetória da órbita da Terra ao redor do Sol, a excentricidade apresenta um valor baixo, 0,016, o que torna essa forma geométrica praticamente circular [4,8].

O último questionamento da segunda questão, requeria dos discentes que explicassem se as estações verão e inverno eram consequências das posições periélio e afélio. Para os alunos **A6**, **A21**, **A24** e **A25**, suas respostas respectivamente, são transcritas aqui: "*se dá [devido] ao eixo imaginário que tem uma inclinação de 23,5º, que causa verão no extremo e em outro um intenso inverno"*; "*Não; a causa das estações do ano é a inclinação do planeta*"; "N*ão, porque a causa das estações do ano, é o eixo imaginário, 23,5*" e "*Não porque a causa das estações do ano é a inclinação da Terra em 23,5º".* Um total de dezesseis discentes apresentou este padrão de respostas observadas. Conforme Moreira [2] uma das concepções alternativas mais comuns no ensino de ciências, aprendidas de forma equivocada é o fato das pessoas acreditarem "[...] que no verão estamos mais próximos do sol e, no inverno, mais distantes, explicando assim as estações do ano". A este equívoco conceitual cuja definição corresponde ao modelo das distâncias, não foi exposta aqui, por nenhum dos alunos. Nessa perspectiva, Nacimento [4] e Gonzatti [8] destacam que a real causa das estações é a inclinação do eixo imaginário da Terra, em aproximadamente 23,5º, em relação a normal do plano de revolução ao redor do Sol.

Na terceira questão, o intuito foi de estudar a excentricidade de trajetórias de três planetas ao redor de uma estrela, conforme Figura 2. No primeiro questionamento, cabiam aos alunos indicarem e explicarem quais das trajetórias se assemelharia a da Terra. A seguir, apresentamos as repostas dadas pelos alunos **A12**, **A15** e **A24**, respectivamente: "*O rosa, pois sua excentricidade é muito baixa, referentes aos outros"*, *"rosa porque a excentricidade é muito baixa"* e *"O rosa, porque é o [que] menos tem excentricidade, muito baixa*". Nesta questão, vinte e quatro alunos apresentaram respostas cientificamente adequadas, optando pela trajetória de menor valor de excentricidade, fornecendo um indício de reconciliação integrada. Segundo Moreira [2] a reconciliação integradora ou integrativa "[...] é um esforço explícito, para explorar relações" presentes em diferentes conteúdos programáticos, que o aluno reconcilia as diferenças e semelhanças entre eles (conteúdos).

Como último questionamento da terceira questão, cabia aos alunos explicarem se as estações do ano seriam afetadas pelas formas das trajetórias nos três planetas, devido as diferentes excentricidades. As respostas apresentadas pela maioria dos alunos nos fornecem possíveis indícios de aprendizagem significativa, conforme as respostas dos alunos **A21** e **A24**, respectivamente**:** "*O rosa não interfere, o azul e o verde interferem por causa do alto valor da excentricidade*", "*apenas no azul e verde pelos exageros da excentricidade"*. Tal pensamento é alicerçado em Moreira [2], Nascimento [4] e Gonzatti [8], pois apontam na direção de que muitas pessoas ainda admitem que o fenômeno das estações é dependente da distância Sol-Terra (modelo das distâncias), fato este não demonstrado aqui pelos discentes.

Nos dois primeiros questionamentos da quarta questão, os alunos deveriam escolher e explicar em quais situações a velocidade da Terra permanece constante, aumenta ou diminui durante o movimento de revolução, na simulação realizada, para se estudar o periélio e o afélio. Vejamos algumas respostas para a situação de um planeta se aproximar do Sol, dos alunos **A6** e **A15**, respectivamente: "*A velocidade aumenta pois a distância é menor e a força gravitacional aumenta também aumenta também a velocidade média*; "*Quando o planeta se aproxima do Sol aumenta a força gravitacional e a velocidade no periélio é mais rápida"*. Transcrevemos também, as respostas dos alunos **A16** e **A21**, respectivamente, para o caso do planeta afastar-se do Sol: "*Diminui. Por causa da força gravitacional. Porque quanto maior a distância menor é a força gravitacional e a velocidade média diminui*"; "*Diminui. Porque perto do Sol a força gravitacional é grande e longe a força diminui e a distância aumenta*".

Nascimento [4] discute que, para o modelo Sol-Terra, não há a presença da aceleração tangencial. Então, a aceleração resultante no movimento de revolução só apresenta a componente centrípeta, consequentemente a força resultante será centrípeta. Logo, essa força resultante é central, e correspondente a força gravitacional entre a Terra e o Sol. Não cabe à força gravitacional a mudança de velocidade orbital. As explicações dos alunos transcritas anteriormente, indicam a possibilidade de terem raciocinado que a força gravitacional atuaria como a força tangencial no movimento de revolução da Terra, constituindo o agente motriz para a mudança do valor da velocidade. Dos trinta partícipes da pesquisa, dezenove alunos responderam a essa questão seguindo o padrão apresentado anteriormente,

nas transcrições.

Um possível fator que pode explicar essa tendência nas respostas dos discentes é que a maioria dos estudantes em diferentes cursos, níveis e idades, apresentam uma concepção de força aristotélica, entendendo que sempre deve haver uma força na direção do movimento e que força e velocidade são diretamente proporcionais [4,8]. Embora o enfoque desse artigo não sejam discutir essas concepções de força, é importante notar como os estudantes acionam seus conhecimentos prévios – nesse caso, concepções intuitivas e em desacordo com as leis da Mecânica Clássica – para explicar situações distintas. Caberia aos alunos argumentarem, em função da segunda Lei de Kepler, para justificar o aumento de velocidade no periélio e diminuição no afélio, o que não ocorreu (Ibidem). Nesse caso, percebemos conceitos e relações que precisariam ser melhor explorados para a construção de concepções mais completas e sistêmicas que evidenciam as conexões entre os conceitos físicos.

O último questionamento do roteiro, ainda em relação as forças de interações entre os planetas e o Sol, solicitava que os alunos optassem entre elas serem de mesma intensidade, maior ou menor, uma em relação a outra. Dezoito alunos apresentaram respostas corretas – as forças de atração entre os astros correspondem a pares de ação-reação, de igual intensidade e sentidos contrários, não se cancelando porque são aplicadas em corpos diferentes (os que participam da interação). O aluno **A11**, ao ler o enunciado, chamou-nos e fez a seguinte pergunta: "Professor, essa aqui é ação e reação né? Depois de tanta força que a gente já viu e calculou aqui, só pode".

Argumentações como as dos alunos **A1**, **A11** e **A24**, respectivamente, alicerçam-nos para afirmar que responderam de forma correta cientificamente: "Mesmos valores, porque tem ação e reação", "São as mesmas forças, ação e reação", "Mesmos valores e têm sentidos opostos baseado na ação e reação". É possível perceber que os estudantes associam a ideia de ação e reação às forças de interação entre uma estrela e um planeta, o que está em acordo com a concepção científica da reconciliação integradora, conforme a teoria de Ausubel. O Sol e a Terra se atraem mutuamente por meio da atuação da força gravitacional, cujo valor de intensidade e a direção de ação são os mesmos, mas o par de forças apresenta sentidos opostos, o que caracteriza a terceira Lei de Newton (ibidem).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para auxiliar os processos de ensino e aprendizagem das Leis de Kepler e da Lei da Gravitação Universal de Newton, concepções necessárias e pertencentes à temática de Terra como um corpo cósmico, propomos a utilização do Objeto de Aprendizagem *My Solar System* como ferramentas tecnológicas para o Ensino de Física. Estando o supracitado subsunçor na estrutura cognitiva do aprendiz é possível aprender de forma significativa os fenômenos astronômicos, como as estações do ano, por exemplo. Assim, por meio da metodologia de ensino apresentada, utilizando o Objeto de Aprendizagem *My Solar System*, verificamos indícios de aprendizagem significativa dos alunos em relação aos temas investigados aqui. Nas argumentações deles retratadas neste artigo, resultantes da intervenção pedagógica, foi evidenciada a ocorrência da reconciliação integradora. Conforme a Psicologia de Ausubel, podemos argumentar que, possivelmente, a metodologia proposta, apresentou-se como um material potencialmente significativo.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à FAPESB, devido ao apoio financeiro parcial por meio de sua bolsa de doutorado (BOL170/2015). O último autor agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 304454/2014-1).

REFERÊNCIAS

[1] TEODORO, Vítor Duarte; NEVES, Rui Gomes. Mathematical modelling in science and mathematics education. Computer Physics Communications, v. 182, n. 1, p. 8-10, 2011.

[2] MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas. I Encontro Regional de Aprendizagem Significativa I ERAS NORTE. UEPA, Belém, 2013. Disponível em: <http://paginas.uepa.br/erasnorte2013/images/sampledata/figuras/aprend_%20signif_%20org_prev_mapas_conc_diagr_v_e_ueps.pdf>. Acesso em: 23 abr. de 2014.

[3] NUSSBAUM, J. Children's Conceptions of the Earth as a Cosmic Body: a cross age study. Science Education, New York, v. 63, n. 1. p. 83-93, Jan. 1979.

[4] NASCIMENTO, Jefferson Oliveira do. O Ensino de Física por meio de ferramentas tecnológicas: um estudo de caso com o PROEJA. 2015. 231 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 25 set. 2015.

[5] NASCIMENTO, Jefferson Oliveira do; NEIDE, Italo Gabriel; GONZATTI, Sônia Eliza Marchi. Modelagem e simulação computacional no ensino de Física: Uma proposta de estudo de caso com o PROEJA. In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015, Uberlândia/MG. Anais do XXI SNEF, 2015. v. 1. p. 1-8. Disponível em: < http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0527-2.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2015.

[6] AUSUBEL, David Paul. Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

[7] NUSSBAUM, Joseph; NOVAK, Joseph D. An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews. Science Education, v. 60, n. 4, p. 535-550, 1976.

[8] GONZATTI, Sônia Elisa Marchi. Um Curso Introdutório à Astronomia para a Formação Inicial de Professores de Ensino Fundamental, em nível médio. 2008. 260 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

[9] NASCIMENTO, Jefferson Oliveira do.; NEIDE, Italo Gabriel.; GOZATTI, Sônia Elisa Marchi. Objetos de aprendizagem e o Microsoft Excel como ferramentas auxiliares no Ensino de Física (no prelo). Caderno Pedagógico (online), Lajeado, v. 13, n. 01, 2016.

[10] SPINELLI, W. Os objetos de aprendizagem: Ação, criação e conhecimento. 2007. Disponível em: <http://www.lapef.fe.usp.br/rived/textoscomplementares/textoImodulo5.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

[11] ARAUJO, Ives Solano. Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral. 2005. 238 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

[12] ARANTES, Alessandra Riposati; MIRANDA, Márcio Santos; STUDART, Nelson. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. Física na Escola, 11, n. 1, 27-31, 2010.

[13] BRASIL. Ministério da Educação. PROEJA - Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na modalidade de Educação de Jovens e Adultos. Educação Profissional Técnica de Nível Médio / Ensino Médio. Documento Base. MEC, 2007. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf2/proeja_fundamental_ok.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2013.

[14] GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1996.

Capítulo 21

Análise do desempenho acadêmico de estudantes do Curso de Turismo de uma Instituição de Ensino Superior utilizando técnicas multivariadas

Teófilo Câmara Mattozo
Gutembergue Soares Silva
André Pedro Fernandes Neto
José Alfredo Ferreira Costa
Alcêdo Pinheiro Galvão

Resumo: Para que uma Instituição de Ensino Superior (IES) se torne competitiva no mercado, de efetivo crescimento e de maior oferta que a demanda, deve procurar aperfeiçoar continuamente seus produtos, serviços e processos, bem como adaptar sua estrutura organizacional à realidade de constantes incertezas, que podem representar ameaças ou oportunidades. No Brasil, o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) tem uma importância fundamental para a avaliação do curso universitário, ganhando uma maior relevância no marketing do curso, principalmente tendo em vista a forma como a mídia tem divulgado os seus resultados desde sua implantação pelo MEC. A proposta desse artigo foi apresentar uma reflexão sobre a avaliação do desempenho dos alunos do curso de Turismo de uma IES em Natal-RN/Brasil, contribuindo como instrumento de gestão a fim de identificar eventuais pontos fracos e oportunidades de melhoria, que possam expressar os aspectos gerenciais menos desenvolvidos e que, por isso mesmo, podem ser objeto de aperfeiçoamento. Esta pesquisa também procurou identificar as dimensões do modelo que foram correlacionadas com as áreas estruturais definidas pelo MEC nos cursos superiores de Turismo que mais contribuem no resultado da avaliação do desempenho dos alunos de turismo. Os resultados mostram que entre as dimensões determinantes, cinco foram significativas na explicação do desempenho geral, baseados na aplicação da regressão linear múltipla. O modelo estatístico formulado revelou-se bem ajustado e com boa capacidade de explicar o desempenho dos alunos. Os principais problemas identificados foram nas dimensões: Mercado Turístico (abrange assuntos relacionados à hospitalidade, segmentos emergentes do turismo, cadeia produtiva da atividade turística e posicionamento do mercado hoteleiro), Atualizações (envolve questões de urbanização no Brasil e movimento antiglobalização) e Planejamento Turístico (ênfase no processo de planejamento de um destino turístico e no planejamento da oferta de turismo e lazer). Limitações e sugestões para melhorias foram abordadas.

Palavras-Chave: Educação Superior em Turismo, Desempenho Acadêmico, Técnicas Estatísticas Multivariadas.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da relevância do setor na economia brasileira, a preparação dos profissionais de turismo revelou ser inadequada e insuficiente durante anos. O turismo adotou uma lógica quantitativa, onde apenas interessava a chegada de turistas ao destino turístico, mesmo que este não estivesse dotado, nem das infraestruturas, nem de profissionais qualificados, fundamentais no processo de acolhimento. Perante um mercado pouco exigente, investir na qualificação dos recursos humanos revelava-se um custo aparentemente desnecessário. Contudo, o turismo de massas e a consequente saturação psicológica e ambiental, determinaram a necessidade de recursos humanos preparados para satisfazer as novas exigências do mercado (Teresa e Stella, 2004).

A demanda crescente por recursos humanos evidenciada pelos diversos intervenientes no processo de desenvolvimento turístico do país requer respostas específicas por parte do sistema educativo. Por outro lado, pressupõe a vinculação de diferentes entidades na busca da mesma missão: qualificar o capital humano em turismo, pois um indivíduo quando termina a sua formação e se integra a este mercado de trabalho, deve ter a capacidade de fazer frente a uma realidade muito exigente e rigorosa (Ribeiro, 2012).

É neste cenário que está inserida esta pesquisa, buscando apresentar uma reflexão sobre a avaliação do desempenho dos alunos do curso de Turismo, bem como procurou identificar as dimensões do modelo que foram correlacionadas com as áreas estruturais definidas pelo MEC nos cursos superiores de Turismo que mais contribuem no resultado da avaliação do desempenho dos alunos de turismo. Este trabalho apresenta como contribuição a identificação e quantificação do desempenho dos alunos no curso de Turismo de uma IES pública.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. EXAME NACIONAL DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ESTUDANTES – ENADE

O governo brasileiro iniciou um processo gradual de implementação de um sistema de avaliação do ensino superior em meados da década de 90. O Exame Nacional de Cursos (ENC) foi estabelecido por meio da lei 9.1311 com abrangência a todos os estudantes concluintes de campos de conhecimento pré-definidos. Disposições legais posteriores inseriram no sistema o Censo de Educação Superior e a Avaliação das Condições de Ensino (ACE), por meio de visitas de comissões externas às instituições de ensino, permanecendo no centro desse sistema o ENC, conhecido como o Provão (Polidori, 2009).

Com o propósito de aperfeiçoamento da Educação Superior, uma série de medidas foram adotadas pelo MEC com o objetivo de analisar e monitorar a qualidade dos cursos superiores e o correspondente desempenho dos alunos no término dos cursos de graduação. Para proceder à avaliação e reconhecimento dos cursos oferecidos pelas Instituições, o órgão promove visitas in loco, por meio de avaliadores designados pelo próprio MEC. Foi instituída também a obrigatoriedade de existência de uma CPA (Comissão Própria de Avaliação), em todas as instituições, que teve como finalidade a realização de avaliações internas permanentes e participativas de todos os envolvidos nos processos acadêmicos: professores, funcionários, alunos e comunidade externa (Brito, 2008).

Desta forma, foi implementada a obrigatoriedade do ENADE (Exame Nacional de Avaliação do Desempenho dos Estudantes), cujo resultado é agregado às outras avaliações realizadas pelos órgãos competentes. Este conjunto fornece ao MEC elementos para uma avaliação global da Instituição e contribui para que ela, fundamentada nos resultados verificados, procure seu aperfeiçoamento.

O ENADE se constitui um requisito obrigatório para possibilitar a efetiva graduação do egresso, tendo a finalidade de avaliar o desempenho dos estudantes com relação aos conteúdos programáticos definidos nas diretrizes curriculares dos cursos de graduação, o desenvolvimento de aptidões e capacidades imprescindíveis a sua formação geral e ao exercício de sua profissão. A participação do aluno passa a ser um pré-requisito imperativo para a emissão do seu diploma.

O ENADE também avalia a adequação a "novos requisitos decorrentes da evolução do conhecimento e suas competências para compreender tópicos relativos a questões brasileiras e internacionais e outras áreas de conhecimento". O exame deve ser aplicado pelo menos uma vez a cada três anos para alunos ingressantes e egressos, em todos os cursos profissionais (Rodrigues, 2008). Essa intenção de medir o valor agregado desempenha um papel central no delineamento dos testes e na possibilidade de melhorar a qualidade de informação fornecida por um exame dessa natureza.

Da forma similar ao Provão, o ENADE passa a ser um componente curricular obrigatório e o histórico escolar de cada estudante deve registrar se foi cumprido ou não, ainda que as notas não façam parte dele (Dias Sobrinho, 2008). Vez que esse exame é aplicado a amostras de estudantes, a Portaria 2.051/04 estabeleceu que o registro de participação fosse indispensável no histórico, "independente do estudante ter sido selecionado ou não na amostragem" (Art. 28). Os alunos não selecionados deverão ter o registro de identificação de dispensa pelo MEC conforme disposto na lei pertinente. Entre o Provão e o ENADE outras semelhanças podem ser identificadas: os resultados individuais dos estudantes só são disponíveis a eles próprios; alunos com melhores desempenhos são premiados, por área de conhecimento; dados de perfil do aluno, do curso e da instituição, além de percepção sobre a prova, são identificados simultaneamente quando da aplicação do teste, fornecidos pelos estudantes e pelo coordenador do curso avaliado (Tavares et al., 2011).

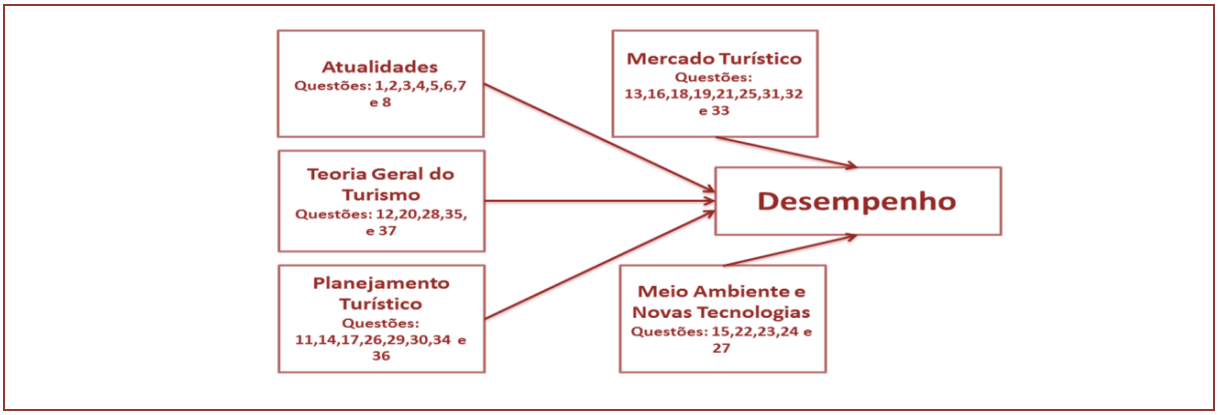
É importante destacar que alcançar uma boa nota no ENADE contribui eficazmente para a qualificação do curso de graduação que ele concluiu e um ganho na competitividade de mercado, uma vez que este vai absorver os profissionais que comprovarem um melhor preparo para o exercício de sua profissão. Por outro lado, a busca por uma educação superior de qualidade se traduz não apenas em imposição determinada pelos marcos regulatórios previstos para o setor educacional, mas de forma direta na melhoria da qualidade de vida e no progresso do país como um todo (Catani et al., 2002).

3. METODOLOGIA

3.1. MODELO CONCEITUAL PROPOSTO

O modelo conceitual proposto foi escolhido após revisão da literatura, sendo baseado nos conceitos preconizados por Qiang (2003), Filippakou et al. (2008) e Brochado (2009). Na modelação foram utilizadas, da maneira mais adequada possível, as dimensões estruturais da área de turismo existentes na prova de avaliação do ENADE 2009 para o curso de turismo, sendo caracterizado por uma formação geral (dimensão Atualidades) e uma componente específica (dimensões Teoria Geral do Turismo, Planejamento Turístico, Mercado Turístico e Meio Ambiente / Novas Tecnologias), com os pesos dos componentes sendo 25% e 75%, respectivamente. Este modelo procurou contemplar as dimensões mínimas relativas às áreas estruturais turísticas, que estariam sendo consideradas nesta pesquisa (avaliação ENADE 2009 do MEC) para que o processo de avaliação pudesse contemplar as dimensões avaliadas como as mais importantes para o seu desenvolvimento. As dimensões analisadas, bem como as questões da prova associadas a cada uma dessas dimensões estão contempladas no modelo conceitual proposto apresentado na Figura 1.

Figura 1- Modelo formulado



Fonte: Autores

3.2. DETERMINAÇÃO DO INSTRUMENTO, TÉCNICA DE COLETA DE DADOS E PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Foram realizadas provas simuladas do ENADE 2014 com dois tipos de variáveis: as relativas ao conteúdo da pesquisa e as de caracterização. As variáveis relativas ao conteúdo da pesquisa compreendem essencialmente o desempenho dos alunos, enquanto as de caracterização dizem respeito, principalmente, aos aspetos de localização do campus e período letivo.

As seguintes dimensões foram consideradas: Atualidades (8 questões da prova), Teoria Geral do Turismo (5 questões da prova), Planejamento Turístico (8 questões da prova), Mercado Turístico (9 questões da prova) e Meio Ambiente / Novas Tecnologias (5 questões da prova) e um de Desempenho Geral, totalizando 35 questões da prova.

A população alvo do estudo foi constituída por alunos do curso de Turismo de uma IES em Natal/RN-Brasil abrangendo os Campus da Capital e do Interior para todos os períodos letivos, em andamento, nomeadamente, 2º, 4º, 6º e 8º. A amostra utilizada compreendeu 103 alunos, o que caracterizou quase a totalidade da população. Depois de respondidas, as provas passaram pelos processos de recepção, codificação, digitação e depuração. As informações de cada prova foram transcritas para o computador e arquivadas em um banco de dados do SPSS - *Statistical Package for Social Science*.

3.4. TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS

O tratamento estatístico foi efetuado recorrendo ao programa *Statistical Package for Social Science* (SPSS 17.0), a partir do qual foram aplicadas algumas técnicas estatísticas para analisar os dados recolhidos. Fundamentalmente foram utilizadas as técnicas de Análise Descritiva com o propósito de caracterizar o perfil dos entrevistados, Análise Bivariada (o Coeficiente de Correlação de Pearson e o Coeficiente Alpha de Cronbach) e Análise Multivariada (Regressão Linear Múltipla).

Uma estatística descritiva (Hair et al., 2009) foi empregada para determinar a média, a mediana, a moda, o desvio padrão, as percentagens e a variância. Outra técnica utilizada foi a Análise Bivariada que são técnicas estatísticas que tratam de relações entre duas variáveis. Para o estudo em questão foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson e também o Coeficiente Alpha de Cronbach (Neter et al, 1996).

Por fim, a técnica de Análise Multivariada foi também utilizada levando em consideração as diversas variáveis preditivas simultaneamente, modelando a variável dependente com mais exatidão. O modelo de regressão é representado pela Equação 1.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \ldots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i \qquad (1)$$

Em que Yi – representa a variável dependente; xik (i = 1, ..., n) são as variáveis independentes (k = 1, 2, ..., p); βi's são os coeficientes da regressão (parâmetros desconhecidos no modelo – a serem estimados); εi é o resíduo, uma variável aleatória que captura a parcela do comportamento da variável Yi, não explicada pela equação da regressão.

Os parâmetros de um modelo da regressão podem ser estimados de várias formas, sendo o mais comum o uso dos mínimos quadrados (MQ), minimizando o erro quadrático médio dos resíduos. Estimativas dos MQ, usados nesse trabalho, são dadas por (Larose, 2006):

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} . \qquad (2)$$

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x} . \qquad (3)$$

O estimador de mínimos quadrados, na forma matricial, é dado por β = (X'. X)-1 (X'. Y), onde o apóstrofo significa transposto. A estatística da regressão pode ser apresentada sucintamente com uso de tabelas da análise de variância (ANOVA). Um parâmetro importante é o coeficiente de determinação múltipla, R^2 que pode ser interpretado como a proporção da variabilidade na variável alvo que é explicado pelo relacionamento linear com o conjunto de variáveis preditoras, sendo definido por meio da Equação 4, onde SSR é a soma dos quadrados da regressão e SST é a soma total dos quadrados.

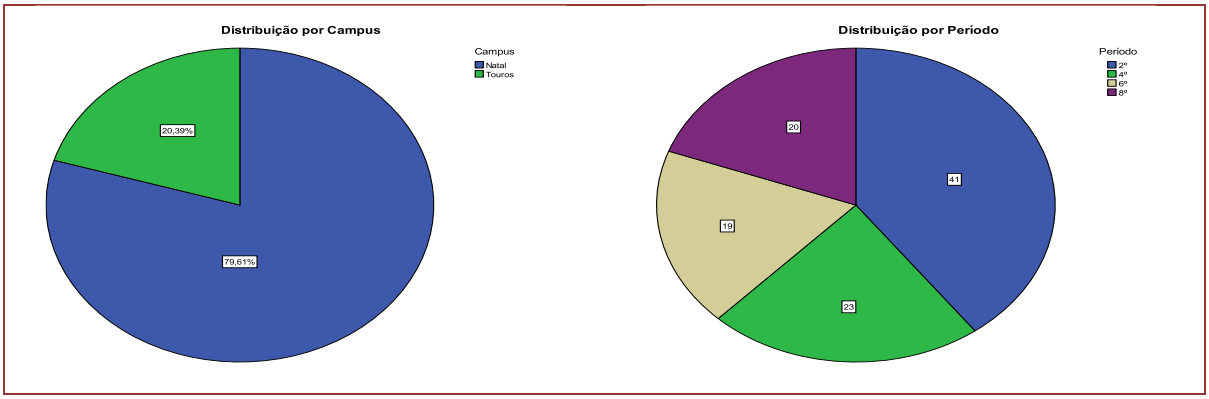
$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \qquad (4)$$

4. RESULTADOS OBSERVADOS

4.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE CARACTERIZAÇÃO

Por meio da análise gráfica dos resultados obtidos a partir do tratamento dos dados cadastrais existentes, foram caracterizados os indivíduos pesquisados quanto ao Campus e período, como pode ser visto na Figura 2. Verifica-se que 79,6% dos alunos que foram submetidos a esta avaliação são do Campus da Capital. Em relação a variável período temos a seguinte distribuição porcentual: 2º = 39,8%, 4º = 22,3%, 6º = 18,4% e 8º = 19,5%.

Figura 2- Caracterização sócio demográfica dos entrevistados



Fonte: relatório do SPSS

4.2 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS RELATIVAS AO CONTEÚDO

Com base nas dimensões do modelo formulado e seus respectivos itens identificados na Figura 1 e as informações apresentadas no Quadro 1, pode-se concluir que a dimensão Atualidades apresentou uma nota média 4,7 em uma escala de 0 a 10, o que correspondeu a um valor relativamente baixo. Por outro lado, a dimensão Teoria Geral do Turismo obteve uma nota média de 5,1. A dimensão Planejamento Turístico apresentou uma nota média 4,9 em uma escala de 0 a 10, sinalizando um desempenho baixo dos alunos. Verificou-se que a dimensão Mercado Turístico apresentou uma nota média 4,5 em uma escala de 0 a 10, sinalizando problemas nesta área. A dimensão Meio Ambiente e Novas Tecnologias apresentou uma nota média 6,3 em uma escala de 0 a 10, representando a dimensão com melhor desempenho.

Quadro 1- Comparativo das dimensões do modelo formulado

Dimensão	Quantidade de Questões	Nota da Dimensão	Alfa de Cronbach
Atualidades (ATU)	8	4,7	0,751
Teoria Geral do Turismo (TGT)	5	5,1	0,702
Planejamento Turístico (PLT)	8	4,9	0,713
Mercado Turístico (MET)	9	4,5	0,724
Meio Ambiente e Novas Tecnologias (AMT)	5	6,3	0,672

Fonte: Autores

Em termos de análise de confiabilidade dos cinco itens, apenas a dimensão Meio Ambiente e Novas Tecnologias (AMT) obteve α=0,672 caracterizando que seus itens apresentam uma homogeneidade próxima do padrão (α ≥ 0,70).

4.3. MENSURAÇÃO DO ÍNDICE DO DESEMPENHO GERAL DOS ALUNOS

Foi empregado um índice geral a partir da utilização da média ponderada das notas de cada um dos fatores: Formação Geral e Formação Específica. O componente de ponderação considerado foi à importância definida pelo ENADE (2009) a cada um desses fatores. O índice D_g foi calculado a partir da expressão:

$$D_g = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot D_i \qquad (5)$$

onde

Pi é o peso (importância) atribuído para cada dimensão i (Formação Geral e Formação Específica) pelo ENADE (2009) e Di é a nota obtida pelos alunos para cada uma das questões i. O Quadro 2 mostra os valores atribuídos pelo ENADE (2009) para os fatores de ponderação de cada dimensão.

Observa-se que o fator mais importante na avaliação pelo ENADE (2009) foi Formação Específica, com um peso de 75% tendo a maior ponderação em relação ao desempenho geral e uma nota média de 5,1 pontos em uma escala de 0 a 10. O fator de menor peso na avaliação pelo ENADE (2009), em relação ao componente de importância, foi referente ao fator Formação Geral, com 25% de relevância.

Quadro 2- Fator de ponderação das dimensões

Dimensões	Peso (%)	Nota
Formação Geral	25	4,7
Formação Específica	75	5,1
Desempenho Geral (D_g)	100	5,0

Fonte: Autores

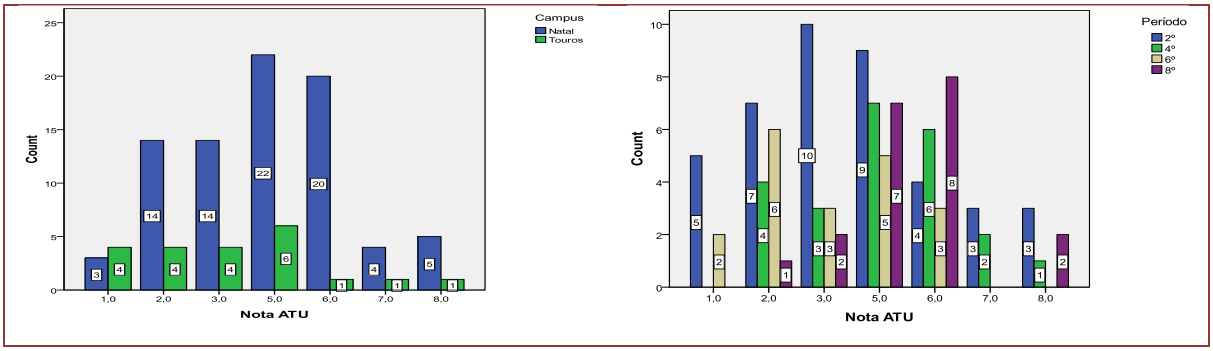
O índice de desempenho geral D_g obtido foi de 5,0 pontos numa escala de 0 a 10, demonstrando que o rendimento dos alunos em relação aos conteúdos programáticos, suas habilidades e competências está apenas em um patamar mediano.

4.4. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DE CARACTERIZAÇÃO E DESEMPENHO GERAL DOS ALUNOS

Com a utilização da análise gráfica obtida por meio da tabulação cruzada, podem-se identificar as notas obtidas em relação a cada variável de caracterização, ou seja, campus e período letivo.

Em relação à dimensão Atualizações apresentada na Figura 3, verifica-se a não ocorrência de notas zero e dez, em ambos os Campus, tendo os alunos, na sua maioria (em torno de 65%), alcançado nota menor ou igual a cinco no Campus da Capital. Por outro lado, em Touros, em uma maioria expressiva (86%), com ficou com nota menor ou igual a cinco. Na variável período, observa-se também a não ocorrência de notas zero e dez, em nenhum período, em contraponto, os alunos do 6º período, alcançaram um patamar de 84%, com nota menor ou igual a cinco e no 2º período, 76% pontuaram do mesmo modo. Na avaliação global, os alunos examinados nesta dimensão, obtiveram nota menor ou igual a cinco em 69% do total contemplado. Os principais problemas foram em relação à questão nº 1, correlacionada com a "urbanização no Brasil", que obteve apenas 10,7% de acerto e com a questão nº 4, que está associada ao "movimento antiglobalização", a qual obteve apenas 35,9% das questões assinaladas corretamente.

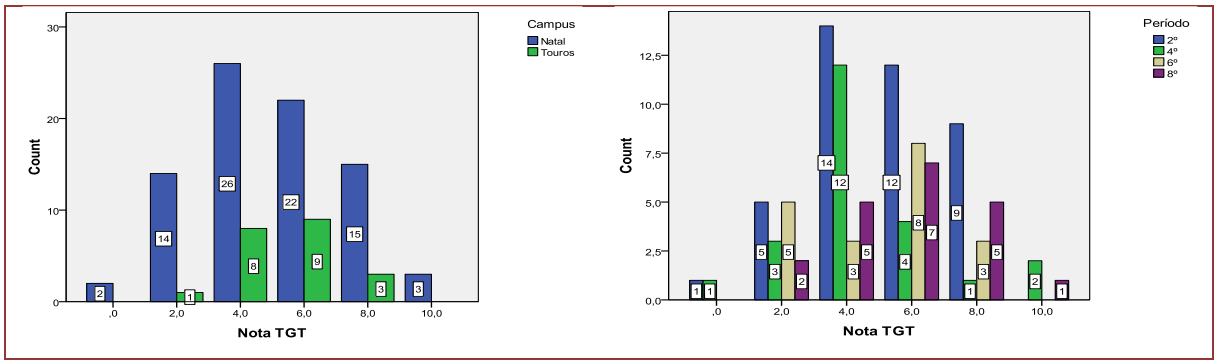
Figura 3- Crosstabulation Nota da Dimensão Atualizações



Fonte: relatório do SPSS

Analisando a dimensão Teoria Geral do Turismo na Figura 4, verifica-se a ocorrência de nota zero e também nota dez no Campus da Capital, enquanto que no Interior não houve ocorrência de notas zero e dez. A maioria (em torno de 51%) alcançou nota menor ou igual a cinco no Campus da Capital enquanto que, no Interior, esta situação se estabeleceu em apenas 42% com nota menor ou igual a cinco. Na variável período, observa-se a não ocorrência de nota zero nos 6º e 8º períodos, porém com incidência de nota dez nos períodos 4º e 8º. Os alunos do 4º período tiveram um desempenho crítico, onde 70% dos mesmos ficaram com nota menor ou igual a cinco, enquanto os alunos do 8º período, apenas 35% obtiveram situação equivalente. Na avaliação global, os alunos examinados nesta dimensão obtiveram nota menor ou igual a cinco em 50% do total. Os principais problemas foram em relação à questão nº 20, relacionada com o "ordenamento do turismo no território e nas organizações", que teve apenas 26,2% de acerto e com a questão nº 31, que está associada ao "espaço turístico – relação entre turismo e espaço", com 30,1% das questões assinaladas corretamente.

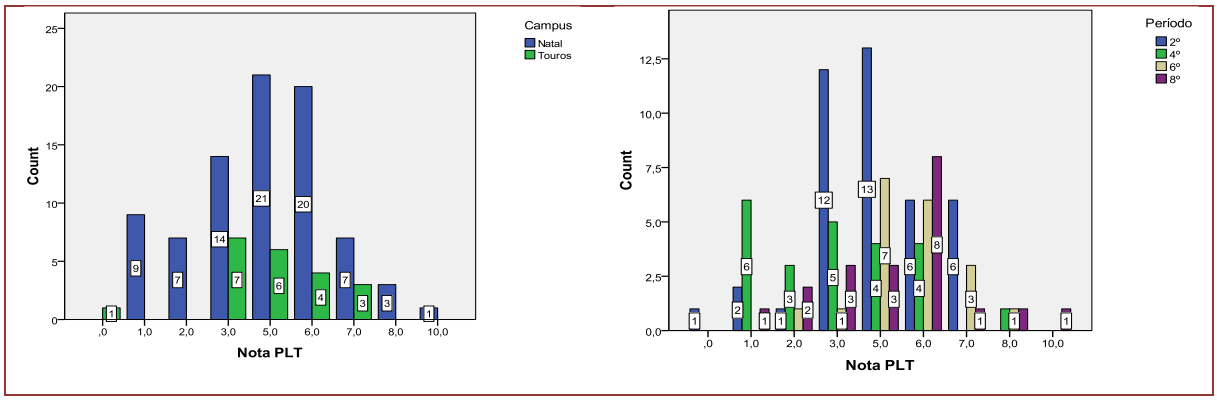
Figura 4- Crosstabulation Nota da Dimensão Teoria Geral do Turismo



Fonte: relatório do SPSS

Em relação à dimensão Planejamento Turístico vista na Figura 5, verifica-se a ocorrência de nota zero no Campus de Touros em contraponto com o registro de nota dez em Natal. Em ambos os Campus, os percentuais de nota menor ou igual a cinco foi bastante elevada, ou seja, desempenho muito ruim (Capital = 62% e Interior = 67%). Na variável período, observa-se a ocorrência de nota zero no 2º período e incidência de nota dez no 8º período. Os alunos do 4º período tiveram um desempenho também crítico onde 78% dos mesmos ficaram com nota menor ou igual a cinco. Em contraste, nos alunos do 8º período apenas 45% obtiveram situação semelhante. Na avaliação global, os alunos examinados nesta dimensão obtiveram nota menor ou igual a cinco em 63% do total. Os principais problemas foram em relação à questão nº 26, relacionada com o "processo de planejamento de um destino turístico", que teve apenas 31,1% de acerto. Com relação à questão nº 29, que está associada a "posição pouco satisfatória do Brasil no cenário turístico mundial", 32,0% das questões foram corretamente assinaladas, enquanto que na questão nº 34, que está associada ao "planejamento da oferta de turismo e lazer", 31,1% das questões estava corretamente assinaladas.

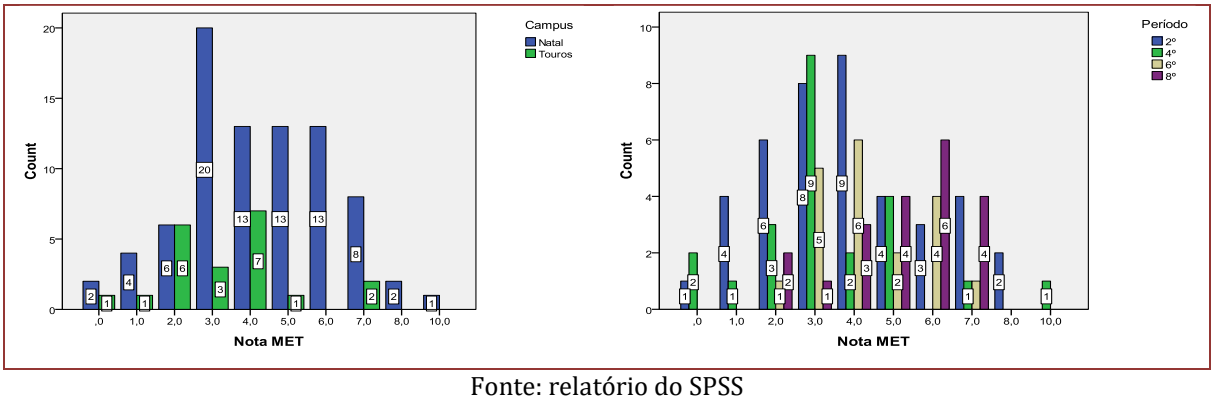
Figura 5- Crosstabulation Nota da Dimensão Planejamento Turístico



Fonte: relatório do SPSS

No diagnóstico da dimensão Mercado Turístico apresentado na Figura 6, verifica-se a ocorrência de nota zero em ambos os Campus e nota dez na Capital. Em ambos os Campus, os percentuais de nota menor ou igual a cinco foi bastante elevada, ou seja, desempenho muito crítico (Capital = 71% e Interior = 90%). Na variável período, observa-se a ocorrência de nota zero nos 2º e 4º períodos e incidência de nota dez no 4º período. Os alunos do 4º período tiveram, mais uma vez, um desempenho muito baixo, onde 91% deles ficaram com nota menor ou igual a cinco. Em contraste, nos alunos do 8º período apenas 50% deste segmento obtiveram situação parecida. Na avaliação global, enfatizamos que os alunos examinados contemplados nesta dimensão obtiveram nota menor ou igual a cinco em 75% do total. Os principais problemas foram com a questão nº 19, relacionada com a "hospitalidade", que obteve apenas 16,5% de acerto. Com relação à questão nº 32, que está associada aos "segmentos emergentes do turismo", 25,2% das questões foi corretamente assinalada, enquanto que na questão nº 25, que está associada a "cadeia produtiva da atividade turística", o índice das questões corretamente assinaladas se elevou para 31,1%. Finalmente, a questão nº 16, que está associada ao "posicionamento do mercado hoteleiro", obteve 33,3% das questões assinaladas corretamente.

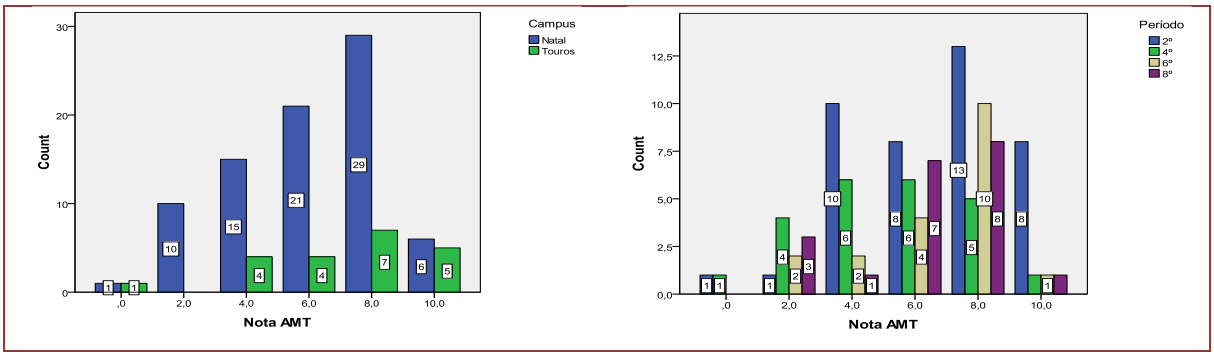
Figura 6- Crosstabulation Nota da Dimensão Mercado Turístico



Fonte: relatório do SPSS

Por fim, verifica-se, na dimensão Meio Ambiente e Novas Tecnologias correspondente a Figura 7, a ocorrência de nota zero, em ambos os Campus e várias notas dez, tanto na Capital como no Interior. Em ambos os Campus, os percentuais de nota menor ou igual a cinco foi bastante reduzido, ou seja, desempenho bom (Capital = 32% e Interior = 24%). Na variável período, observa-se a ocorrência de nota zero nos 2º e 4º períodos e incidência de nota dez em todos os períodos, principalmente no 2º período. Mais uma vez, os alunos do 4º período tiveram o pior valor (48% dos mesmos ficaram com nota menor ou igual a cinco) enquanto que o melhor índice ocorreu no 8º período (apenas 20% ficaram com nota menor ou igual a cinco). Na avaliação global, os alunos contemplados nesta dimensão obtiveram nota menor ou igual a cinco em apenas 30% do total. O principal problema foi em relação à questão nº 24, relacionada com os "recursos e facilidades tecnológicas na área turística", que teve 42,7% das questões corretamente assinaladas.

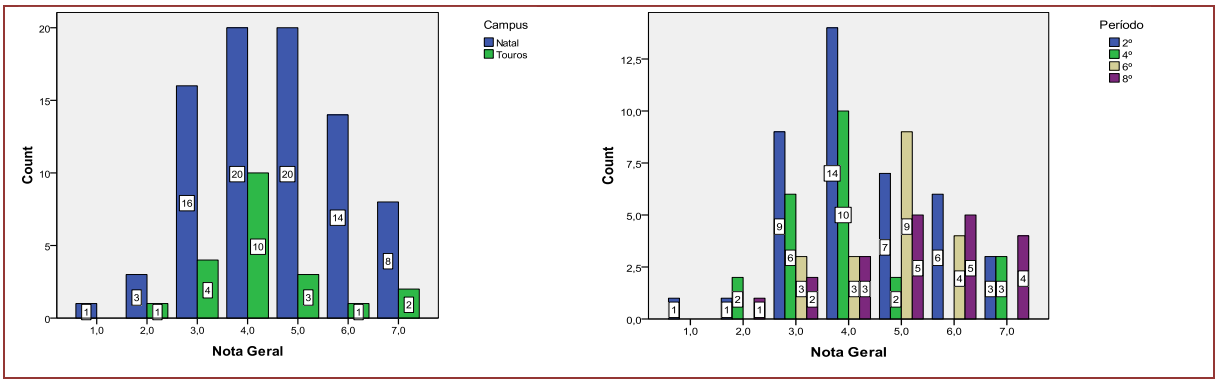
Figura 7- Crosstabulation Nota da Dimensão Meio Ambiente e Novas Tecnologias



Fonte: relatório do SPSS

Na análise geral do desempenho dos alunos em relação à nota final apresentada na Figura 8, foram constatados valores muito baixos tanto na Capital quanto o Interior, com respectivamente 73% e 86% dos alunos, obtendo nota menor ou igual a cinco. Na avaliação global, os alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco em um patamar elevado de 76% do total. Os principais problemas foram em relação à dimensão Mercado Turístico onde 75% dos alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco. Na dimensão Atualidades, 69% dos alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco e na dimensão Planejamento Turístico, 63% dos alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco.

Figura 8- Crosstabulation Nota Geral



Fonte: relatório do SPSS

Na avaliação comparativa dos alunos do 2º período dos Campus da Capital e do Interior conforme o Quadro 3, não é verificado diferenças significativas entre os mesmos em termos de notas obtidas tanto na formação geral bem como na formação específica.

4.5. APLICAÇÃO DE REGRESSÃO MULTIVARIADA AS VARIÁVEIS RELATIVAS AO CONTEÚDO E O DESEMPENHO GERAL

Na aplicação da técnica de regressão linear múltipla, um aspecto de fundamental importância é a correta especificação do tipo de escala a ser utilizada, pois na prática, incorporar escalas inadequadas implica em dificuldades adicionais a serem superadas pelo pesquisador, podendo, eventualmente inviabilizar a utilização dessa técnica. A literatura mais conservadora recomenda apenas a utilização de variáveis contínuas ou discretas, que é o caso desta pesquisa, pois a escala utilizada refere-se a uma variável quantitativa contínua intervalar, ou seja, a notas obtidas pelos alunos.

Foi utilizado o programa SPSS para estimar os parâmetros do modelo de desempenho, por meio do método dos mínimos quadrados (Fávero et al., 2009), tendo sido obtido a seguinte função de regressão múltipla estimada pelo método confirmatório, para representar o desempenho geral (D_g):

$$Dg_i = 0{,}218ATU_i + 0{,}129TGT_i + 0{,}233PLT_i + 0{,}251MET_i + 0{,}129AMT_i \quad (2)$$

A Tabela 2 apresenta os coeficientes do modelo ajustados, os respectivos desvios padrão, os resultados dos testes individuais (estatística t e nível de significância), o intervalo de confiança, as correlações e estatísticas de colinearidade.

Tabela 2 Coeficientes de regressão do método confirmatório

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	0,005	0,123		0,039	0,969
	Nota ATU	0,218	0,018	0,313	12,314	0,000
	Nota TGT	0,129	0,017	0,206	7,788	0,000
	Nota PLT	0,233	0,019	0,341	12,437	0,000
	Nota MET	0,251	0,021	0,356	11,755	0,000
	Nota AMT	0,129	0,015	0,232	8,348	0,000

a. Dependent Variable: Nota Geral

Fonte: relatório do SPSS

Como pode ser observado na Tabela 3, o coeficiente de determinação múltiplo R^2 foi de 0,945. Isto significa que as cinco dimensões constantes na função de regressão são responsáveis por explicar quase a totalidade da variação do desempenho, ou seja, 94,5% (Norusis, 2004a).

Tabela 3- Sumário do modelo da regressão do método confirmatório

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,972ª	0,945	0,942	0,329

a. Predictors: (Constant), Nota AMT, Nota ATU, Nota PLT, Nota TGT, Nota MET

Fonte: relatório do SPSS

Na execução de um teste global de significância ao modelo (Draper & Smith 2005), recorreu-se ao SPSS para construir uma tabela ANOVA (Tabela 4), e executar o Teste-F, correspondendo às seguintes hipóteses:

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0 \quad \text{(ausência de efeito);}$$
$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \vee \beta_2 \neq 0 \vee \beta_3 \neq 0 \vee \beta_4 \neq 0 \vee \beta_5 \neq 0 \quad \text{(presença de efeito).}$$

O teste estatístico F obtido (Tabela 4) foi igual a 334,026 para os graus de liberdade do numerador e do denominador, respectivamente com valores de 5 e 102 e ao nível de significância de α = 5% (a = 95%). O valor tabelado encontrado de F crítico (Tabachnick e Fidell, 2001), para as condições propostas, foi de $F_c \cong$ 2,21. A hipótese que se pretende testar é verificar se as variáveis independentes – dimensões consideradas no modelo – exercem conjuntamente efeitos significativos sobre a variável dependente Desempenho Geral (D_g).

Para se testar as hipóteses consideradas (H_0 e H_1), deve ser feito uma comparação entre o valor obtido (F_{obs}) e o valor crítico que é definido em tabela, ou seja, se $F_{obs} \leq F_c = F(95\%; 5; 102)$, é aceita H_0. Da tabela da distribuição F, para as condições propostas, se verifica que $F(95\%; 5; 102) \cong 2{,}21$. Logo, como $F_{obs} \geq$

F(95%; 5; 102), ou seja, 334,026 é muito maior que 2,21 deve ser rejeitada a hipótese nula (H_0) e ser validada a hipótese H_1, ao nível de significância de 5%. Desta maneira constata-se que existe pelo menos um parâmetro diferente de zero. Isto significa que as dimensões têm influência sobre a variável dependente. Portanto, pode ser concluído que o desempenho geral (D_g) está relacionado com as variáveis independentes (dimensões do modelo).

Tabela 4 Variância (ANOVA) do método confirmatório

	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	181,222	5	36,244	334,026	,000a
	Residual	10,525	97	0,109		
	Total	191,748	102			

a. Predictors: (Constant), Nota AMT, Nota ATU, Nota PLT, Nota TGT, Nota MET
b. Dependent Variable: Nota Geral
Fonte: Relatório do SPSS

A fim de obter uma maior confiabilidade, pode ser usado também o coeficiente de regressão modificado, chamado de coeficiente beta, onde os testes individuais dos parâmetros β_i são realizados utilizando à estatística t de Student. Para tanto deve ser feita uma comparação entre o valor obtido (t_i) com o valor crítico (t_c), que também é definido em tabela, ou seja, se ti ≤ tc, então deve ser aceita a hipótese nula. Caso contrário, deve-se rejeitá-la.

O teste estatístico t, obtido para o coeficiente β_1 da dimensão – Atualidades foi t_1 = 12,314. Para os graus de liberdade que são 5 e 102 e com um nível de significância de 5%, o valor crítico tabelado encontrado foi de $t_c \cong 1{,}890$. Como $| t_c | \cong 1{,}890 < | t_1 | = 12{,}314$, rejeita-se a hipótese nula (H_0), em favor da hipótese alternativa de efeito positivo, com um nível de significância de 5%. Esse resultado indica que a influência da dimensão Atualidades sobre o Desempenho Geral é estatisticamente significante, ao nível de 5%. Efetuou-se o cálculo da estatística t para as outras dimensões, recorrendo ao SPSS, cujos resultados estão apresentados no quadro dos coeficientes (Tabela 2). Como podem ser verificadas, todas as estatísticas t correspondentes aos parâmetros β_i estão fora da região de aceitação (sig. ≥ 0,05).

Por meio do método confirmatório (Norusis, 2004b) pode ser verificado que os parâmetros obtidos para o coeficiente de determinação múltiplo, o Teste F e o teste estatístico t comprovam a validação da hipótese H_1 tendo em vista que os coeficientes β_1, β_2, β_3, β_4 e β_5 obtiveram valores de significância sig < 0,05, sendo, portanto significativos. Desta forma, há fortes indícios do relacionamento das dimensões contidas na modelagem definida em relação ao desempenho geral.

5. CONCLUSÕES

Na realidade atual onde o aluno está mais informado e exigente, a avaliação sistemática traz bons resultados como modo de realimentar e direcionar os esforços de uma Instituição de Ensino Superior (IES), contribuindo como instrumento de gestão a fim de identificar eventuais pontos fracos e oportunidades de melhoria, que possam expressar os aspectos gerenciais menos desenvolvidos para o seu aperfeiçoamento. Neste sentido, os objetivos gerais deste artigo foram avaliar o desempenho geral dos alunos do curso de Turismo da IES do Campus da Capital e do Interior em relação à aplicação da avaliação do ENADE 2014 e identificar os seus atributos determinantes.

O modelo proposto procurou contemplar as dimensões mínimas relativas às áreas estruturais turísticas, que estariam sendo consideradas nesta pesquisa (avaliação ENADE 2014 do MEC) para que o processo de avaliação pudesse levar em consideração as dimensões avaliadas como as mais importantes para o seu desenvolvimento. Assim, foi utilizado um método baseado no emprego de regressão linear multivariada para analisar o efeito que as dimensões, contempladas na referida avaliação do MEC, teriam sobre o desempenho geral dos alunos.

Os resultados obtidos na análise geral reforçam a aplicabilidade conveniente do modelo conceitual

proposto e sugerem que aumentar o nível de desempenho dos alunos demanda melhorar o comportamento do conjunto de dimensões (áreas turísticas estruturais consideradas no modelo), em especial, Mercado Turístico e Planejamento Turístico (maiores coeficientes na equação de regressão), que representam as maiores influências na composição do desempenho geral e que também obtiveram avaliações inadequadas.

Quando se analisa o desempenho dos alunos em relação à nota final, constata-se valores muito baixos tanto na Capital quanto no Interior, com respectivamente 73% e 86% dos alunos com nota menor ou igual a cinco. Na avaliação global, os alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco em um patamar elevado de 76% do total.

Os principais problemas identificados foram encontrados na dimensão Mercado Turístico (relacionados à hospitalidade, segmentos emergentes do turismo, cadeia produtiva da atividade turística e posicionamento do mercado hoteleiro), na dimensão Atualizações (envolvendo questões de urbanização no Brasil e movimento antiglobalização e na dimensão Planejamento Turístico (com ênfase no processo de planejamento de um destino turístico e no planejamento da oferta de turismo e lazer), em que os alunos obtiveram nota menor ou igual a cinco, associados aos patamares respectivamente, de 75%, 69% e 63%, com notas médias que se estabeleceram nos níveis de 4,5; 4,7 e 4,9, de modo correspondente, em uma escala intervalar de zero a dez.

Outro aspecto que merece uma reflexão mais cuidadosa é em relação ao desempenho dos alunos do 4º período que foi muito crítico. Neste segmento, os alunos obtiveram as piores avaliações em praticamente todas as dimensões, ou seja, Mercado Turístico = 91%, Planejamento Turístico = 78%, Teoria Geraldo Turismo = 70%, Atualizações = 76% e Meio Ambiente = 48% - percentual correspondente às avaliações com notas menores ou iguais a cinco.

Embora este artigo apresente contribuições do ponto de vista acadêmico e prático, tem algumas limitações de que devem ser tratadas em abordagens posteriores. A primeira delas decorre do fato da coleta de dados ter sido feita por conveniência, o que pode causar viés na análise. Outra limitação se refere às técnicas quantitativas utilizadas, que, mesmo sendo significativamente fortes para extrair as informações estatísticas e suas relações, algumas interações podem não terem sido percebidas, não sendo assim, capazes de captar todas as diferenças do comportamento humano, por mais diversificados e consistentes que sejam os métodos. Esforços em pesquisa podem ser feitos, no sentido da realização de estudos adicionais com a utilização de modelagem de equações estruturais para caracterizar melhor o conjunto de atributos relevantes na explicação do desempenho geral. Além disso, a coleta de dados desta pesquisa foi realizada exclusivamente com alunos do curso de Turismo da IES referenciada, por isso sugere-se que pesquisas futuras sejam realizadas abrangendo outros cursos também outras IES.

REFERÊNCIAS

[1] BRITO, M. R. F. O SINAES e o ENADE: da concepção à implantação. Avaliação (Campinas) [online], vol.13, n.3, pp. 841-850. ISSN 1414-4077. 2008.

[2] BROCHADO, A. Comparing alternative instruments to measure service quality in higher education. Quality Assurance in Education. v.17, n.2, pp. 174-190. 2009.

[3] CATANI, OLIVEIRA, DOURADO A política de avaliação da educação superior no Brasil em questão. In: Dias Sobrinho; Ristoff (Org.). Avaliação democrática para uma universidade cidadã.

[4] Florianópolis: Insular. 2002.

[5] DIAS SOBRINHO, J. Qualidade, avaliação: do Sinaes a índices. Avaliação: Revista de Avaliação da Educação Superior, Campinas/Sorocaba, v. 13. n. 03. 2008.

[6] DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied Regression Analysis. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 274p. 2005.

[7] FÁVERO, L. P, BELFIORE, P, SILVA, F. L., CHAN, B. L. Análise de Dados: modelagem multivariada para tomada de decisão. Rio de Janeiro: Campus. 2009.

[8] FILIPPAKOU, O. TAPPER, T. Quality assurance and quality enhancement in higher education: Contested territories? Higher Education Quarterly, Oxford, UK, v. 62, n. 1/2, p. 84-100. 2008.

[9] HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. Análise Multivariada de Dados. 6º ed., São Paulo: Bookman. 2009.

[10] LAROSE, D. T. Data Mining Methods and Models. 1. ed., Nova York: John Wiley & Sons, Inc. 2006.

[11] NETER, J., KUTNER, M., NACHTSHEIM, C., AND WASSERMAN, W. Applied Linear Statistical Models., McGraw-Hill Companies, Inc., Nova York.1996.

[12] NORUSIS, M. SPSS 13.0 Guide to Data Analysis. Upper Saddle-River, N.J.: Prentice Hall, Inc. 2004a.

[13] NORUSIS, M. SPSS 13.0 Statistical Procedures Companion. Upper Saddle-River, N.J.: Prentice Hall, Inc. 2004b.

[14] POLIDORI. M. M. Políticas de avaliação da educação superior brasileira: PROVÃO, SINAES, IDD, CPC, IGC e outros índices. Avaliação, Campinas; Sorocaba, SP, v. 14, n. 2, p. 439-452, jul. 2009.

[15] QIANG, Z, Internationalization of Higher Education: towards a conceptual framework. Policy Futures in Education, Toronto, v. 1, n. 3. 2003.

[16] RIBEIRO, E. A. As atuais políticas públicas de avaliação para a educação superior e os impactos na configuração do trabalho docente. Avaliação: Revista de Avaliação da Educação Superior, Campinas/Sorocaba, v. 17, n. 02. 2012.

[17] RODRIGUES, G. M., Avaliação do ensino superior brasileiro: modelos, divulgação dos resultados e normas regulamentadoras. Revista da Associação Brasileira de Mantenedoras de Ensino Superior. Ano 26 n. 38. Dezembro. 2008.

[18] SPSS, Inc. SPSS Versions 17.0 for Windows. Chicago: SPSS Inc. 2009.

[19] TABACHNICK, B. G. E FIDELL, L. S. Using multivariate statistics. 4rd ed. Needham Heights: Allyn&Bacon. 2001.

[20] TAVARES, M. G. M, OLIVEIRA, M. A. A, SEIFFERT, O. M. L. B. Avaliação da educação superior na Revista Ensaio e políticas públicas em educação: ênfases e tendências. ENSAIO: Avaliação e Políticas Públicas em Educação. Rio de Janeiro, v. 19, n. 71, p. 233-258. 2011.

[21] TERESA C. V. C., STELLA R. R. C. Qualificação Profissional em Turismo como Fator de Competitividade do Setor. Caderno Virtual de Turismo, vol. 4, n. 3, pp. 26-34. 2004.

Capítulo 22

Uma abordagem do Scrum para Gestão de Tempo, Produtividade e Bem-Estar

Carlos Fran Ferreira Dantas
Rosane Targino de Medeiros
Fernanda Ligia LeonardoMarques

Abstract: O Scrum tem sido um *framework* amplatamente utilizado na gestão de projetos de software na perspectiva de desenvolvimento ágil. O sucesso e a simplicidade do Scrum tem motivado sua adoção em outros campos, como sua versão para educação -- eduScrum. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma abordagem do Scurm para gestão de tempo e produtividade, incorporando práticas e técnicas da psicologia positiva com o intuito de melhorar o bem-estar dos utilizadores. Em experimento inicial, proposto como desafio aos voluntários, obteve-se um impacto nas emoções positivas e bem-estar subjetivo de cerca de 50% dos participantes. Relatos dos participantes, indicam que a abordagem contribuiu para a realização de melhores planejamentos, maior organização e foco nas atividades, além de favorecer o bem-estar dos participantes com exercícios relacionados ao otimismo e gratidão.

Keywords: Scrum, Desenvolvimento Ágil, Gestão de Tempo, Bem-estar Subje- tivo, Psicologia Positiva.

1. INTRODUÇÃO

No contexto dos estudantes concluintes, principalmente do ensino médio, observa-se maior cobrança por resultados e aumento das atividades, pois, ao mesmo tempo que realizam as atividades comuns do ano letivo em curso, preparam-se para os exames de ingresso à universidade. Além disso, tais jovens passam por um período de decisão quanto à escolha de carreira e definição de planos, como a possibilidade de inserção no mundo do trabalho.

Atrelado ao contexto destes estudantes, está o cenário pandêmico durante o ano letivo de 2020, que inclui as incertezas pertinentes à modalidade de ensino remoto adotada em caráter emergencial pelas instituições de ensino. As dúvidas referentes ao contexto de ensino, somado ao confinamento social, intensificaram a incidência de sofrimento psíquico nos mais diversos graus, vindo a desencadear sentimentos desfavoráveis e emoções em descompasso, os quais afetam diretamente a execução das tarefas pelos estudantes, culminando na redução da produtividade e bem-estar dos discentes [Moreira et al. 2020; Maia and Dias 2020].

Tais mudanças têm causado sentimentos de autocobranças, distorções cognitivas, infelicidade, ansiedade em diferentes níveis que, em situações extremas, desencadeiam sintomas de transtorno depressivo em diferentes intensidades [Mattos 2020].

Diante desse panorama, foi questionado aos discentes de uma turma concluinte do curso técnico integrado em Informática sobre quais as principais dificuldades e desafios do momento para eles.

Como resultado, foi elaborada uma nuvem de termos presentes nas respostas (Figura 1).

Figura 1: Diagnóstico realizado com estudantes concluintesde cursotécnico integrado em Informática

Percebeu-se que os discentes apresentam ansiedade (em algum nível), além de relatarem problemas relativos à gestão de tempo e produtividade, como dificuldade em estabelecer uma rotina, desmotivação, ausência de foco, procrastinação, desânimo, insônia e dificuldades de concentração e organização.

Diante do cenário, foi proposto aos discentes na disciplina Projeto de Desenvolvimento de Software, que aborda conceitos e práticas de Engenharia de Software, uma abordagem do Scrum para gestão de tempo e produtividade, inserindo aspectos da psicologia positiva. Por psicologia positiva [Seligman and Csikszentmihalyi 2000], define-se a ciência que se dedica a estudar os traços e experiências positivos dos indivíduos, de modo a objetivar o foco nos aspetos positivos e promover qualidade de vida das pessoas, além de atuar de forma preventiva em relação às psicopatologias; desse modo, proporciona significados salutares aos objetivos e traços positivos das pessoas.

A proposta de uma abordagem do Scrum para gestão de tempo e produtividade tem como objetivo munir os participantes de ferramentas para gerir o tempo e a produtividade, agregando as práticas e constructos da psicologia positiva - manejo e gerenciamento das emoções e sentimentos positivos, gratidão, otimismo, altruísmo, autocompaixão, visto a potencialização dos resultados no planejamento, organização e execução Scrum.

As seções seguintes deste trabalho expõem conceitos da psicologia positiva e de bem-estar subjetivo (Seção 2), apresenta o *framework* Scrum em mais detalhes (Seção 3), relata trabalhos semelhantes (Seção 4) e detalha a abordagem proposta (Seção 5), incluindo resultados e considerações de um estudo inicial de uti- lização da abordagem apresentada neste documento.

2. A PSICOLOGIA POSITIVA E O BEM-ESTAR SUBJETIVO

A Psicologia Positiva é um campo da psicologia que investiga os sentimentos, as emoções, as instituições e os comportamentos positivos; e, tem como propósito a felicidade humana, também referenciado como bem-estar subjetivo [Seligman and Csikszentmihalyi 2000; Camalionte and Boccalandro 2017].

[Seligman and Csikszentmihalyi 2000] expõem que é possível experimentar da felicidade por meio de três elementos: emoções positivas, o engajamento (flow) e a vida significativa.

As emoções positivas tratam-se das sensações como gratidão, otimismo, diversão, orgulho, dentre outras.

O estado de *flow*, engajamento, remete ao estado em que a pessoa está envolvida em uma atividade em alto nível de concentração, absorvida pela momento e atividade.

A vida significativa tem forte relação com o altruísmo, o qual se relaciona com o servir e compreender sua função em algo maior, estabelecendo como propósito de vida.

O bem-estar subjetivo pode ser determinado com base no nível de satisfação com a vida, a frequência das emoções positivas e a frequência das emoções negativas. Quanto maior o nível de satisfação com a vida (em geral, traduzido pelas pessoas como bem-estar ou felicidade) e a frequência das emoções positivas, maior será o nível de bem-estar subjetivo de uma pessoa [Zanon et al. 2020].

Segundo [Sheldon and Lyubomirsky 2019], é possível aumentar os níveis de felicidade por meio de comportamentos intencionais que envolvam gratidão, empatia e altruísmo.

Nesses termos, vislumbra-se as ações que remetam à promoção de emoções positivas como gratidão e otimismo, ao passo que contribuam para a busca de sentido e engajamento em atividades ligadas aos objetivos pessoais, que podem contribuir para o bem-estar e a saúde mental das pessoas.

3. O *FRAMEWORK* SCRUM

O Scrum é um *framework* estruturado para apoiar o desenvolvimento de produtos e serviços em todos os tipos de indústrias e em qualquer tipo de projeto, independentemente de sua complexidade [SCRUMStudy 2016].

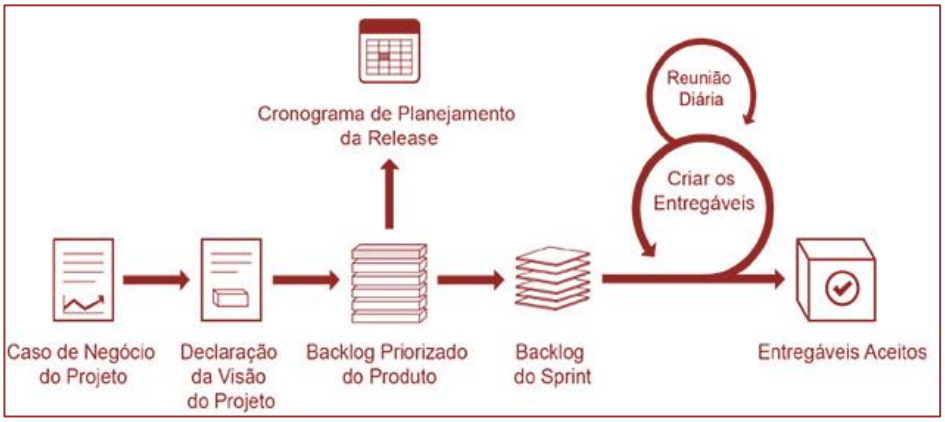
O Scrum é fundamentando em seis princípios que caracterizam o funcionamento do framework. São os princípios: (1) Desenvolvimento Iterativo, (2) Controle de Processo Impírico, (3) Auto- organização, (4) Colaboração, (5) Priorização orientada a valor e (6) *Time-boxing*.

O Scrum permite englobar vários processos ou técnicas, de forma a adaptá-lo ao projeto para obter maior eficiência [Schwaber and Sutherlandn 2017].

O fluxo do Scrum para uma *sprint* é exposto na Figura 2.

O Scrum possui apenas dois artefatos e cinco eventos, os quais podem ser definidos como:

Figura 2: Fluxo do Scrum para uma *sprint*



Fonte: [SCRUM-Study 2016]

Sprint: um *time-box*, intervalo de tempo preestabelecido para um ciclo de execução de tarefas com o objetivo de realizar uma etapa do projeto que, ao final, terá uma entrega de valor para o cliente/usuário. Uma *sprint,* em geral, tem duração de uma a quatro semanas.

Planejamento da Sprint: momento no qual são definidos os itens alvos da execução da sprint.

Reunião Diária: é uma reunião, estilo *stand up*, na qual cada membro da equipe comunica em que está trabalhando atualmente e quais as dificuldades existentes, de maneira a possibilitar colaboração dos demais membros.

Revisão da Sprint: caracteriza-se por um momemnto de apresentação dos resultados da *sprint* ao cliente/usuário. Nesse momento, são coletados alguns *feedbacks* e atualizado o *backlog* do produto.

Retrospectiva da Sprint: define-se por uma reunião de equipe do projeto, com intuito de avaliar a execução da *sprint* e identificar pontos positivos e pontos negativos, além de definir ações para aperfeiçoar o processo de desenvolvimento.

Os artefatos do Scrum são o *Backlog* do Produto e o *Backlog* da *Sprint*. O termo *backlog* refere-se ao cojunto de itens a serem tratados no projeto. Assim, o *Backlog* do Produto remete ao conjunto de todos os itens do projeto, os quais são organizados em uma lista priorizada, e o *Backlog* da *Sprint* refere-se ao conjunto de itens que serão tratados no próximo ciclo de execução do projeto.

User story são descrições simples e concisas, escritas de modo que o cliente expresse suas necessidades e a equipe do projeto utilize-as para definição do *backlog* do produto [Brod 2015].

O Scrum estabelece o conceito de "Definição de Pronto", uma convenção estabelecida pelos envolvidos no projeto para conclusão de um item do *backlog* ou objetivo da *sprint* corrente [SCRUMStudy 2016; Schwaber and Sutherlandn 2017; Brod 2015].

O Scrum é um *framework* para gestão de projetos com notório reconhecimento de sua qualidade e dentre os vários motivos de sua grande utilização, estão a adaptabilidade, a melhoria contínua e o ritmo sustentável proporcionado aos projetos geridos.

4. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [Starr and Starr 2008], David Starr e Eleanor Starr relatam a utilização do Scrum por três anos na família. Na abordagem, *backlog* é representado por uma lista de itens que devem ser cumpridos pela manhã por cada membro da família; a *sprint* tem duração de uma semana; a reunião diária antes da saída para escola/trabalho; e, a revisão e retrospectiva são realizadas em uma reunião semanal da família.

Segundo [Starr and Starr 2008], a utilização do Scrum aumentou a comunicação na família melhorando comportamentos das crianças e criando um sentimento positivo de equipe. As crianças foram encorajadas a participarem do processo e passaram a contribuir com ideias para melhorar a dinâmica na família. Por fim, os autores ressaltam a necessidade de se manter aberto a mudanças (adaptabilidade) e que o objetivo de mudanças na família é a felicidade, uma família saudável.

As experiências de David Starr e Eleanor Starr inspiraram [Feiler 2013] que em seu livro expõe as suas experiências com o Scrum e os princípios do Manifesto Ágil [Beck et al. 2001] em sua família.

Para [Feiler 2013], equipes autogeridas, revisões frequentes e *feedbacks* constantes são alguns dos conceitos do desenvolvimento ágil vislumbrados com a adoção do Scrum na rotina da família.

[Feiler 2013] reforça que as práticas incorporadas na rotina da família aumentaram a comunicação, ajudaram a aproximar os membros e a reduzir o estresse.

[Sutherland 2016] exemplifica o planejamento de um projeto no Scrum utilizando-se da realização de um casamento – expondo a utilização do *framework* em um contexto diferente do desenvolvimento de software.

Em [Souza 2018], uma série de registros expõem a utilização do Scrum para gerir um projeto pessoal – projeto de leitura. [Souza 2018] relata como se utilizou dos eventos do Scrum no seu projeto de leitura, aborda os momentos do fluxo de uma *sprint* e discute aspectos dos princípios do Scrum.

[Sutherland 2016] dedica um captítulo inteiro de seu livro para tratar sobre felicidade (capítulo 7),

abordando desde motivos para se preocupar com o bem-estar das pessoas envolvidas em um projeto à técnica que propõe para medir a felicidade dos membros da equipe. Tal técnica, alinhada ao *kaizen* (melhoria contínua), propõe algumas poucas perguntas para que cada membro responda e relacione-as ao bem-estar na empresa, como se sente no que concerne ao seu papel em relação à empresa, e o que poderia ser feito para deixá-lo mais feliz.

Os questionamentos propostos por [Sutherland 2016] remetem aos conceitos da psicologia positiva e permitem aos membros uma reflexão sobre o propósito na empresa/trabalho e seu bem-estar subjetivo no ambiente cuja permanência, em média, é de um terço do dia.

O Scrum também tem uma abordagem dedicada à aprendizagem.

O eduScrum apresenta-se como um modelo que combina o Scrum ao processo de ensino-aprendizagem (projetos colaborativos de aprendizagem) [Delhij et al. 2016].

Em paralelo ao Scrum, o eduScrum insere dois novos eventos: Formação de equipe e Reflexão pessoal.

O cuidado na formação das equipes visa o equilibrio de habilidades/competências, genêros e o rodízio da composição das equipes.

Quanto a reflexão pessoal, o evento faz parte da retrospectiva da *sprint*, onde os discentes avaliam a metodologia e métodos de trabalho da equipe e, em seguida, cada membro avalia os demais e a si mesmo acerca das habilidades e pontos de melhoria.

O eduScrum amplia a “definição de pronto” do Scrum, com a “Definição de Diversão”, considerando que o trabalho deve ser agradável para os envolvidos e que tal fator é impactante para o melhor aproveitamento da aprendizagem.

Diante das adaptações expostas, é perceptível o potencial do Scrum em diferentes contextos e projetos. As propostas apresentadas, anteriormente, exploram alguns aspectos de bem-estar e emoções positivas como, por exemplo, a felicidade citada por [Suther- land 2016] e a definição de diversão do eduScrum.

No campo da gestão de tempo e produtividade, o método globalmente conhecido é o GTD (*GGetting Things Done*) de David Allen [Allen 2005].

O GTD tem por objetivo ordenar atividades e tarefas do cotidiano e proporcionar maior produtividade através da organização de um fluxo de trabalho e eliminação de distrações. No entanto, o método não trata de aspectos que se relacionam ao bem-estar subjetivo ou às emoções positivas, referindo-se a tais aspectos apenas na motivação de seu uso, colocando-se como o método que proporciona ordem ao caos na vida pessoal e profissional.

5. GESTÃO DE TEMPO E PRODUTIVIDADE COM SCRUM

Como visto na exposição dos trabalhos relacionados, o Scrum pode ser facilmente utilizado na gestão de projetos de outros campos, incluindo projetos pessoais. Desta forma, pode-se estabelecer as seguintes instruções para uma abordagem do Scrum na gestão de tempo e produtividade pessoal:

***Backlog* do Produto :** todas as tarefas e compromissos relativos às atividades da pessoa.

***Backlog* da *Sprint*:** são aqueles itens (tarefas e compro- missos) priorizados para a semana (*sprint* com duração de uma semana).

Planejamento da *Sprint*: momento de planejamento da semana incluindo a priorização das tarefas e organização dentro de uma jornada de atividades. No campo da gestão de tempo e produtividade, em geral, recomenda-se o planejamento de 6 horas de atividades diárias.

Reunião Diária: momento, no início das atividades diárias, para visualização do que precisa ser feito, replanejamento, caso necessário, definir nova priorização e/ou organização do dia (horários, trajetos, outros).

Revisão da *Sprint*: tempo dedicado à avaliação da semana quanto ao cumprimento das tarefas e compromissos, além de atualização do backlog. Este momento é seguido da retrospectiva da *sprint*.

Retrospectiva da *Sprint*: um intervalo de tempo para reflexão sobre as técnicas, estratégias e metodologias utilizadas. É um momento de aperfeiçoamento e autoavaliação, assim como, também, pode servir de momento para busca ou reafirmação de sentido/propósito e compromissos pessoais com objetivos e sonhos.

Em relação ao Caso de Negócio do Projeto, Declação da Visão do Projeto e Cronograma de Planejamento da Realease, pode-se indicar que são representados pela definição clara das atividades (estudante, profissional, *hobbies* etc) que requerem o cumprimento de tarefas e comprommissos associados; objetivos e metas.Nesta proposta de gestão de tempo e produtividade com Scrum, recomenda-se a listagem de objetivos e criação de metas com estimativas de realização. Nesse sentido, instrui-se a criação de lista de objetivos anuais (para os próximos 3, 5, 10 anos) e a elaboração de metas distribuídas nos 12 meses para o ano corrente, apresentando- se como um planejamento de *releases*.

O planejamento de *release* é também um instrumento de motivação, servindo como lembrete e passível de mudanças – seja acrescentando novos objetivos/metas ou removendo de acordo com as descobertas individuais através da autoavaliação e reflexões proporcionadas pelas retrospectivas e acontecimentos da vida.

A abordagem do Scrum na gestão de tempo e produtividade permite a inserção de várias técnicas no planejamento e execução das *sprints*, como a necessidade de definição de prazos para as tarefas, lidar com o perfeccionismo desnecessário, estabelecendo expectativas ou uma definição de pronto, lidar com a procrastinação aplicando técnicas como Efeito Doberman ou técnica dos 3 segundos.

Na abordagem proposta, o bem-estar está atrelado desde ao cuidado em incluir no planejamento as atividades de lazer e descanso, equilibrando o tempo dedicado as atividades e o cuidado pessoal; até a retrospectiva, na qual se deve avaliar a semana quanto aos métodos utilizados e as emoções, buscando exercitar a gratidão e o otimismo que auxiliam na regulação do bem-estar subjetivo.

5.1. EXPERIMENTO INICIAL

Com o objetivo de realizar uma avaliação inicial da abordagem do Scrum na gestão de tempo e produtividade, os conceitos e técnicas foram organizados como um desafio proposto aos discentes concluintes do curso técnico integrado em informática.

Tal desafio foi proposto como uma atividade livre (sem avaliação), sendo solicitado que realizassem o preenchimento de um formulário de autoavaliação referente aos aspectos de organização e emoções positivas.

O formulário deveria ser preenchido antes de iniciar e ao finalizar o desafio, no intuito de identificar alterações no estado emocional dos participantes. Além das respostas ao formulário, foi solicitado na etapa final da atividade, um *feedback* (em áudio) sobre o desafio.

Devido ao caráter de aplicação da abordagem e público-alvo da proposta, os termos do Scrum não foram citados de forma explícita, focando no entendimento e adoção do fluxo, sem demais exigências com a nomenclatura técnica.

Tendo em vista a simplificidade de produção e o acesso ao conteúdo, o formato *podcast* foi adotado para as instruções do desafio. Utilizou-se da plataforma Anchor[4] que realiza a distribuição em várias outras plataformas de *streaming* de áudio.

O desafio foi estruturado em 7 episódios rápidos (duração de 3 a 10 minutos) com uma tarefa a ser cumprida dia a dia durante uma semana, proporcionando uma mudança gradativa e oportunidades de reflexão em cada um dos tópicos abordados.

Os episódios produzidos foram:

1) Sobre o Desafio Rainbow

Apresentação do desafio, objetivos e a preparação para os 7 dias de desafios. Este episódio propõe a reflexão e clareza quanto aos objetivos e atividades da pessoa. Neste momento, o desafiado deve descriminar uma lista de seus objetivos e metas, algo semelhante à uma declaração de visão do projeto no

[4] https://anchor.fm

Scrum. Além disso, recomenda-se a listagem de todas as tarefas à serem realizadas, na perspectiva de se construir o *backlog* e um planejamento de *releases* (organização de metas e objetivos em blocos de tempo).

2) Planejar Semana

Sobre como planejar a semana, dia a dia, organizando as tarefas da semana. Prazos e priorização das tarefas. Neste episódio, os participantes são instruídos à priorizar tarefas por valor (importância e urgência), identificar turno que considera ser mais produtivo e a incluir atividades de lazer e exercícios físicos no planejamento, contribuindo para a saúde e bem-estar. O planejamento da semana tem por objetivo melhorar a organização e ajudar no foco, alinhando a execução das tarefas com os objetivos e metas definidos. Caracteriza-se como o planejamento da *sprint*.

3) Planejar Distrações

Alerta sobre distrações e como identificar e eliminar as fontes dessas distrações. Apresenta a técnica pomodoro e orienta sobre identificar e planejar intervalos para as distrações. O objetivo deste desafio é fazer uma mudança na postura, proporcionando maior foco no que precisa ser realizado e planejar intervalos que podem ser gratificantes. Com base na técnica pomodoro, o desafio implica na estimativa de tempo/esforço. No tocante ao bem-estar, propõe-se melhor utilização dos intervalos com pequenos *hobbies* e atividades que contribuem para o bem-estar, como brincadeiras com animais de estimação e abraços em pesssoas queridas próximas (mãe, pai, filhos, parceiro, etc).

4) Planejar Trajetos

Proposta de organizar dias e horários para realizar deslocamentos e exibir dicas de como aproveitar, de forma produtiva e prazerosa, o tempo em salas de espera e translados.

5) Planejar Preocupações

Apresentar motivações para o controle da ansiedade, com o planejamento de preocupações, de forma a equilibrar o planejar do futuro e viver o presente.

6) Seja Otimista

Instrui para a busca do otimismo colocando a avaliação como uma oportunidade de melhoria, sentido e perspectivas mais adequadas. Relaciona-se com a motivação necessária para cumprimento das tarefas na *sprint* e sentido de execução do projeto.

7) Seja Grato

Expõe a gratidão como contribuidor para o sucesso e apresenta técnicas/exercícios como Diário da Gratidão, para auxiliar no vislumbre de motivos para ser grato. Assim como o desafio anterior, este desafio relaciona-se com a motivação e cumprimento da *sprint* e execução do projeto.

8) Avalie!

É enfatizada a importância da avaliação frequente e pertinente ao que está sendo trabalhado e, o convite a avaliar a experiência do desafio. Neste episódio final, avalia-se os pontos positivos e negativos da semnaa, atualiza-se as tarefas à serem realizadas e definido que medidas devem ser tomadas para aperfeiçoar todo o processo (proposta de restrospectiva do *Scrum*).

O primeiro episódio foca na organização das ideias criando uma visão por meio de objetivos e metas. Como estimulo, este exercício permite aos participantes reconhecerem que podem alcançar seus objetivos e, para tal, pequenos esforços devem ser despendidos nas tarefas para alcance das metas que poderão levá-lo a atingir o objetivo pretendido.

Os episódios 2, 3, 4 e 5 relacionam-se com o conceito de *Sprint* e planejamento da *sprint*.

Nos episódios 6, 7 e 8 são tratadas questões mais relacionadas a retrospectivas, com um espaço destinado às emoções positivas – otimismo e gratidão.

Estudos na área da psicologia positiva reforçam que sentimentos como gratidão e otimismo contribuem para nosso bem-estar, comumente referidos como felicidade.

Segundo pesquisas relatadas em [Achor 2017], as pessoas felizes são pessoas mais produtivas e que alcançam o que definem como sucesso (pessoas bem-sucessedidas).

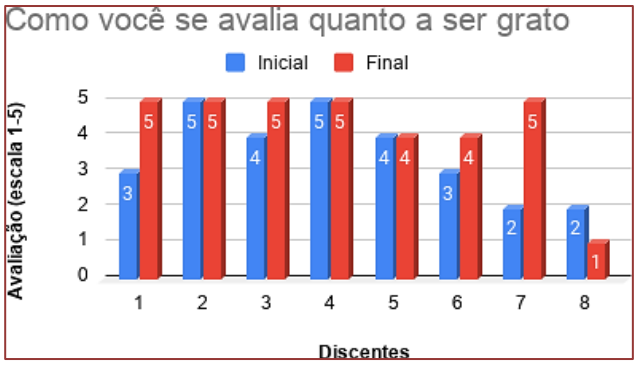
Nessa perspectiva, acredita-se que a instrução das pessoas para a gestão de tempo e a manutenção do bem-estar contribuem não só para a produtividade, mas também, para a saúde mental das pessoas.

5.2. RESULTADOS ALCANÇADOS

O desafio foi realizado por oito discentes, cujas respostas ao questionário sugerem impacto quanto ao otimismo, gratidão e bem-estar subjetivo dos participantes.

As autoavaliações dos participantes são indicadas nos gráficos -figuras 3, 4 e 5.

Figura 3: Autoavaliações dos participantes quanto à gratidão



Os resultados expõem que 50%, 75% e 50% dos participantes tiveram impacto positivo quanto à gratidão, otimismo e bem-estar. Foi observado que em apenas um dos participantes houve alterações negativas nas autoavaliações.

O participante cuja alteração foi negativa, teve a situação investigada e identificou-se algumas problemáticas ligadas à saúde da família do discente, exigindo que o participante assumisse responsabilidades e se afastasse de suas atividades acadêmicas e pessoais.

Figura 4: Autoavaliações dos participantes quanto ao otimismo

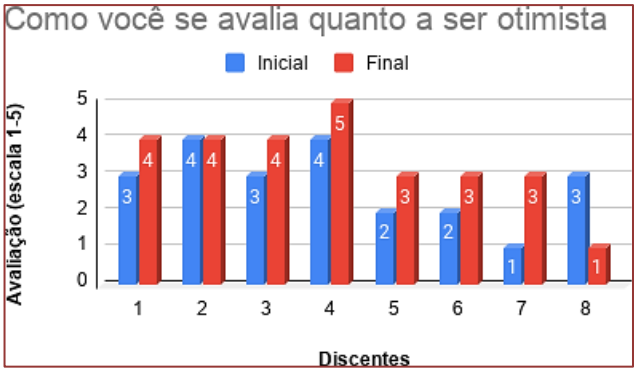
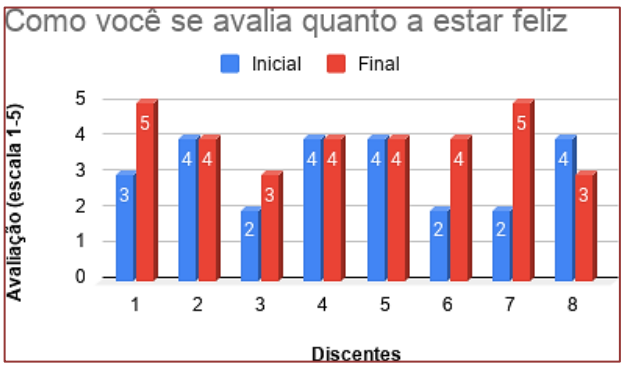


Figura 5: Autoavaliações dos participantes quanto à felicidade (bem-estar subjetivo)



O participante em questão, como discente da instituição, passou a ser acompanhado por pedagogas e psicológa, visto que apresentousituação semelhante anteriormente.

Apenas três participantes do desafio enviaram relatos em formato de áudio. Os relatos recebidos são transcritos a seguir e foram de participantes cujo impacto foi, notadamente, positivo.

Relato 1

"Eu queria relatar que foi um desafio muito bom pra mim, muito produtivo, porque... no início eu não estava entendendo muito bem qual era o propósito, meio confuso as ideias, mas, assim desde o primeiro dia fiz certinho, fiz o planejamento que me ajudou bastante. **Nunca tinha feito um planejamento tão detalhado que focasse também no meu momento de lazer, no meu tempo livre...** Então isso me ajudou. Eu consegui fazer coisas que a tempos eu tava planejando. Atingi todas as minhas metas, meus objetivos, **consegui fazer coisas que eu gosto além das coisas que eu precisava fazer. Além disso, os *pod- casts* "Seja otimista" e "Seja grato" foram muito bons, me ajudaram bastante para umas ideias** (...)"

Relato 2

"Bom... Depois do planejamento, eu não coloquei totalmente em prática, mas em questão de horários para cumprir (...) tenho melhorado porque **o dia tem ficado maior**, digamos assim. E em relação às metas, **estou mais focado**. Então isso melhorou bastanteem relação a antes do desafio."

Relato 3

"Ótimo desafio. Desafio nota 10. (...) dizer que me ajudou mais ainda em questão de gestão de tempo e produtividade. Eu já vinha tentando organizar minhas metas, meus objetivos, minhas atividades do dia, e **esse (desafio) foi mais uma ajuda, principalmente, na questão de ser otimista e de ser grato por poder fazer várias tarefas ao longo do dia. Ser otimista e buscar cada vez mais**. (...) muito obri gado pela ajuda."

Por meio dos relatos, torna-se perceptível a questão das deficiências no que se refere ao planejamento que, geralmente, exclui momentos de lazer.

Os relatos indicam que a abordagem contribuiu para a realização de melhores planejamentos, maior organização e foco nas atividades, além de favorecer o bem-estar dos participantes com exercícios relacionados ao otimismo e gratidão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de abordagem do Scrum para a gestão de tempo e produtividade, integrando elementos da psicologia positiva, pode contribuir para maior produtividade e bem-estar subjetivo dos praticantes.

Os impactos identificados constituem em resultado preliminar da abordagem, sendo necessário estudo

mais aprofundado. Nesse sentido, aponta-se algumas iniciativas em planejamento, como o uso do desafio (abordagem) pela psicologia da instituição de ensino e um estudo longitudinal dos impactos da abordagem do scrum associada à psicologia positiva para gestão de tempo.

O uso da abordagem pela psicologia da instituição tem por propósito instruir os discentes na gestão de tempo, organização de estudo e cuidado em relação à saúde mental.

Aplicação com os diversos discentes da instituição para a pesquisa longitudinal visa avaliar os impactos e a durabilidade do efeito ao longo do tempo.

Por fim, o fato de participantes relatarem maior controle sobre o tempo, como se o dia fosse maior, é algo que chamou atenção, visto que a sensação de controle sobre os horários proporciona certo emponderamento diante de circunstâncias que ocasionam em ansiedade. Conclui-se que a abordagem tem efeitos positivos na produtividade e saúde mental dos praticantes.

REFERÊNCIAS

[1] Wanderson Carneiro Moreira, Anderson Reis de Sousa, and Maria do Perpétuo So- corro de Sousa Nóbrega. Mental Illness in the general population and health professionals during Covid-19: A scoping review. Texto & Contexto - Enfer- magem, 29, 00 2020. ISSN 0104-0707. doi: http://dx.doi.org/10.1590/1980-265x-tce-2020-0215. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104- 07072020000100208&nrm=iso.

[2] Berta Rodrigues Maia and Paulo César Dias. Ansiedade, depressão e estresse em estu- dantes universitários: o impacto da COVID-19. Estudos de Psicologia (Campinas), 37,00 2020. ISSN 0103-166X. doi: 10.1590/1982-0275202037e200067. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-166X2020000100504&nrm=iso. Laura Mattos. Pesquisa aponta aumento de ansiedade e tristeza em jovens na pandemia, August 2020. URL https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2020/08/pesquisa-aponta-aumento-de-ansiedade-e-tristeza-em-jovens-na-pandemia.shtml.

[3] M. E. P. Seligman and M. Csikszentmihalyi. Positive psychology: An introduction.American Psychologist, 55:5 – 14, 2000. doi: 10.1037/0003-066X.55.1.5. URL https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.5.

[4] Letícia George Camalionte and Marina Pereira Rojas Boccalandro. Felicidade e bem- estar na visão da psicologia positiva. Boletim - Academia Paulista de Psicologia, 37: 206 – 227, 07 2017. ISSN 1415-711X. URL http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php? script=sci_arttext&pid=S1415-711X2017000200004&nrm=iso.

[5] Cristian Zanon, Letícia Lovato Dellazzana-Zanon, Solange Muglia Wechsler, Ro- drigo Rodrigues Fabretti, and Karina Nalevaiko da Rocha. COVID-19: implicações e aplicações da Psicologia Positiva em tempos de pandemia. Estudos de Psicologia (Campinas), 37:1–13, 00 2020. ISSN 0103-166X. URL http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-166X2020000100506&nrm=iso.

[6] Kennon M. Sheldon and Sonja Lyubomirsky. Revisiting the sustainable happiness model and pie chart: Can happiness be successfully pursued? The Journal of Positive Psychology, 0(0):1–10, 2019. doi: 10.1080/17439760.2019.1689421.

[7] SCRUMStudy. A Guide to the SCRUM BODY OF KNOWLEDGE (SBOKTMGUIDE) 2016 Edition. VMEduc, Phoenix, AZ, 1nd. edition, 2016. ISBN 978-0-9899252-0-4.

[8] Ken Schwaber and Jeff Sutherlandn. Guia do Scrum. Um guia definitivo para o Scrum: As regras do jogo. Scrum.org and Scrum Inc., 1nd. edition, 2017.

[9] Cesar Brod. Scrum - Guia Prático para Projetos Ágeis. Novatec, São Paulo, SP, 2nd. edition, 2015. ISBN 978-85-7522-441-0.

[10] David Starr and Eleanor Starr. Agile practices for families: Iterating with children and parents, 2008.

[11] B. Feiler. The Secrets of Happy Families: Improve Your Mornings, Rethink Family Dinner, Fight Smarter, Go Out and Play and Much More. Little, Brown Book Group, 2013. ISBN 9780349402239. URL https://books.google.com.br/books?id=lGneszdK2rYC.

[12] Kent Beck, Mike Beedle, Arie van Bennekum, Alistair Cockburn, Ward Cunningham, Martin Fowler, James Grenning, Jim Highsmith, Andrew Hunt, Ron Jeffries, Jon Kern, Brian Marick, Robert C. Martin, Steve Mellor, Ken Schwaber, Jeff Sutherland, and Dave ThomasIngo Lütkebohle. Manifesto para desenvolvimento Ágil de soft- ware. https://agilemanifesto.org/iso/ptbr/manifesto.html, 2001. [Online; accessed 20-November-2020].

[13] J. Sutherland. Scrum: a arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo, pages 117–123. Leya Brasil, 2016. ISBN 9788544104712. URL https://books.google.com. br/books?id=Q1G2DQAAQBAJ.

[14] Caio Souza. Acompanhando projetos pessoais com o scrum, oct 2018. URL https://blog.myscrumhalf.com/acompanhando-projetos-pessoais-com-o-scrum/.Arno Delhij, Rini van Solingen, and Willy Wijnands. O Guia eduScrum. As regras do jogo. 1nd. edition, 2016.

[15] D. Allen. A arte de fazer acontecer: uma fórmula anti-stress para estabelecer prioridades e entregar soluções no prazo. ELSEVIER EDITORA, 2005. ISBN 9788535219081. URL https://books.google.com.br/books?id=TW_8IL7QOaYC.

[16] Shawn Achor. O Jeito Harvard de Ser Feliz. Saraiva Educação S.A., 2017. ISBN 9788502180284. URL https://books.google.com.br/books?id=edJiDwAAQBAJ.

Capítulo 23

Previsão do índice S&P 500 da Bolsa de Valores através de Redes Neurais Artificiais Multicamadas

Rodrigo de Moraes
Daniel Gomes Soares

Resumo. A predição de índices da bolsa de valores e/ou cotações das ações, é um grande desafio até mesmo para especialistas com anos de experiência em técnicas de investimento. Prever o futuro, e em especial o comportamento de séries temporais é considerado um grande desafio, tanto para a estatística como para a computação. Dentro deste contexto, este trabalho apresenta um modelo previsor, baseado em Redes Neurais Artificiais (RNAs) do tipo *Multilayer Perceptron*, para a predição do índice S&P 500 da bolsa de valores de Nova Iorque. O desempenho das RNAs modeladas é analisado por meio de índices estatísticos e gráficos. Os resultados demostram que é possível realizar a previsão de índices da bolsa de valores com erro e antecedência aceitáveis.

Palavras-chave: Previsão de Índices da Bolsa de Valores, Redes Neurais Artificiais, Lógica Paraconsistente.

1. INTRODUÇÃO

Investir no mercado de ações é tido como um desafio para muitos, visto que os resultados para este tipo de investimento podem ser de certa maneira, muito difíceis de prever. De acordo com Wang et al (2011), "os dados históricos sobre os preços das ações são uma das informações mais importantes para investidores na bolsa de valores, porém, infelizmente, estes dados são dinâmicos, não lineares, não parametrizados e caóticos por natureza. Isso implica que os investidores têm que lidar com séries cronológicas não estacionárias e com frequentes quebras estruturais, dificultando a previsibilidade dos dados futuros."

Ainda para Wang et al (2011), os preços das ações são afetados por diversos fatores macroeconômicos diferentes, dentre estes fatores se destacam, eventos políticos, taxas bancárias, expectativas dos investidores, condições financeiras em geral e até mesmo fatores psicológicos dos investidores. Prever a variação desses preços com precisão pode ser bastante desafiador, porém, de certa maneira, é de grande interesse para os investidores.

Existem vários estudos relativos a modelos de predição de índices da bolsa, tais como, o IBOVESPA da bolsa de valores brasileira como pode ser visto nos trabalhos de Rêgo e Mussa (2008) e Roque (2009), e o índice S&P500 da bolsa americana, conforme pode ser observado em Tsaih et al (1998) e Yudong e Lenan (2009). Naturalmente a predição dos índices através destes modelos se dá por indicadores de análise técnica, visto que este tipo de análise baseia-se na observação de gráficos e índices em busca de prever o comportamento futuro desses valores em função de uma série histórica de cotações.

Uma técnica que vem obtendo sucesso na predição de preços das ações ou índices da bolsa de valores, são as Redes Neurais Artificiais (RNAs), como é o caso do trabalho de Krieger (2012). Em geral, as RNAs possuem atributos de aprendizagem, generalização, processamento paralelo e resistência a erros (WANG et al, 2011). Outro aspecto importante, é o que mencionam Yudong e Lenan (2009), afirmando que a maioria dos modelos baseados em RNAs usam os dados históricos e atuais do índice de ações para prever os preços futuros, além disto, as RNAs têm ganhado popularidade devido às suas capacidades inerentes para aproximar qualquer função não linear com um alto grau de precisão.

Dentro deste contexto, pelo fato das RNAs terem a capacidade de identificação de padrões, realizar previsões e de terem sido utilizadas com sucesso nesse tipo de problema, o objetivo deste trabalho será utilizar a técnica de Redes Neurais Artificiais para, a partir da série histórica do índice de ações S&P500, prever o valor de fechamento deste índice com um dia de antecedência.

2. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso de seres vivos. Possuem a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento e podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais, que são interligados por um grande número de interconexões (sinapses artificiais) (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Segundo Braga, Carvalho e Ludermir (2011), as RNAs tentam reproduzir as funções das redes biológicas, buscando implementar seu comportamento funcional e sua dinâmica.

Silva, Spatti e Flauzino (2010) complementam que as RNAs possuem características de mapear sistemas não-lineares, aprendendo seus comportamentos a partir de amostras, medidas ou até mesmo padrões.

2.1. REDES MULTILAYER PERCEPTRON

Segundo Silva, Spatti e Flauzio (2010) as Redes Multilayer Perceptron (MLP) pertencem à arquitetura neural conhecida como *feedforward* de múltiplas camadas, possuindo em sua estrutura pelo menos uma camada oculta (intermediária) de neurônios, situada entre a camada de entrada e a de saída. Desta forma as redes MLP possuem no mínimo duas camadas de neurônios, que estão distribuídas entre as camadas intermediárias e a camada de saída.

A camada de entrada da RNA é a responsável por receber os sinais externos. As camadas intermediárias extraem a maioria das informações referentes ao seu comportamento e as codificam através dos pesos sinápticos e limiares de seus neurônios nas camadas adjacentes.

Segundo Braga, Carvalho e Ludermir (2011) o algoritmo de treinamento mais comumente utilizado em

uma rede MLP é o *backpropagation*, ou algoritmo de retropropagação, que é um método supervisionado de treinamento que utiliza pares de entrada e saída para ajustar os pesos da rede por meio de um mecanismo de correção de erros. Silva, Spatti e Flauzio (2010) reforçam que o treinamento ocorre através de aplicações sucessivas de duas fases, uma delas é a fase de propagação adiante (ou *forward*) e a outra é a fase de propagação reversiva (ou *backward*).

De acordo com Soares e Teive (2015), a utilização do algoritmo *backpropagation* convencional na prática tende a convergir de forma demasiadamente lenta, exigindo-se, assim, um elevado esforço computacional. Algumas das alternativas para tornar o processo de convergência da rede mais eficiente são: a inserção do termo de *momentum*, ou a utilização de variantes do *backpropagation* como o algoritmo de *Levenberg-Marquardt* e a Regularização Bayesiana.

3. ÍNDICES DE AÇÕES

Segundo a BM&FBovespa (2016), o Mercado de Capitais "tem como objetivo principal canalizar recursos dos agentes econômicos para a capitalização das empresas de capital aberto, por meio de operações com títulos e valores mobiliários em mercado de bolsa ou balcão. A compra e a venda de títulos e valores mobiliários pelos diversos agentes econômicos (indivíduos, empresas, fundos e instituições financeiras, por exemplo) é o que define a liquidez e o valor de mercado de tais ativos e, portanto, da empresa emissora."

Sendo assim, uma das principais funções do mercado de capitais, é possibilitar que empresas, com intuito de viabilizar projetos de investimento, captem recursos diretamente do público investidor em condições mais vantajosas do que as oferecidas pelos empréstimos e financiamentos bancários (BM&FBovespa, 2016).

Dentro do Mercado de Capitais, além das ações negociadas, há o termo de índice de mercado, ou índices de ações, que segundo Lagioia (2007), é um composto estatístico que registra mudanças nas cotações das ações e mede as altas e baixas das ações numa determinada bolsa de valores.

Outra definição é a dada por BM&FBovespa (2016), apontando que os índices acionários resume a evolução dos preços de um conjunto de ações em um único indicador. São números absolutos utilizados para representar o valor de mercado de uma carteira teórica de ações e para observar sua evolução temporal.

Um dos índices mais relevantes do mercado financeiro mundial é o S&P 500, estudado nesta pesquisa, da bolsa de valores de Nova Iorque. De acordo com Siegel (2015), o S&P 500 é composto por quinhentas ações selecionadas de acordo com o seu tamanho de mercado, liquidez e sua representação de grupo industrial. Os ativos deste índice estão presentes para negociação nas bolsas dos Estados Unidos, NYSE (New York Stock Exchange) e NASDAQ.

4. METODOLOGIA

4.1. DADOS DISPONÍVEIS

Os dados utilizados para treinamento, validação e testes das RNAs foram retirados do site oficial do índice S&P 500 contendo informações dos valores do índice desde 20/04/2011 até 21/10/2016, onde as informações entre as datas 20/04/2011 até 19/04/2016 foram utilizadas para o treinamento e validação das redes, e os dados contidos entre 20/04/2016 e 21/10/2016 foram utilizados para testar a melhor RNA dentre as configurações utilizadas. A Figura 1 mostra a disposição dos dados da forma como foram obtidos e tais informações englobam amostras com os seguintes dados referentes ao índice: data, valor de abertura, máximo, mínimo, fechamento, variação, volume e índice de interesse de abertura.

Figura 1: Amostra de dados disponíveis

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Date	Open	High	Low	Last	Change	Settle	Volume	Open Interest
2	2016-10-21	2136	2138,5	2123,25	2136	2,25	2134,75	1404835	2944425
3	2016-10-20	2137,5	2144,5	2126,75	2136,75	1	2137	1602595	2944305
4	2016-10-19	2131,5	2142,5	2126,5	2138	6	2138	930618	2928096
5	2016-10-18	2122,5	2139,75	2120,25	2132	9	2132	1129535	2925829
6	2016-10-17	2126,25	2130	2116,75	2121,75	4	2123	1246192	2920332
7	2016-10-14	2126,25	2143,25	2122,25	2126,25	0,75	2127	1834488	2928712
8	2016-10-13	2127,75	2132,25	2107,75	2126	5,25	2126,25	2175906	2929169
9	2016-10-12	2133	2140,75	2126,25	2128	3	2131,5	1465871	2927494
10	2016-10-11	2159,5	2160,75	2121,75	2133,5	24,5	2134,5	2231047	2942901

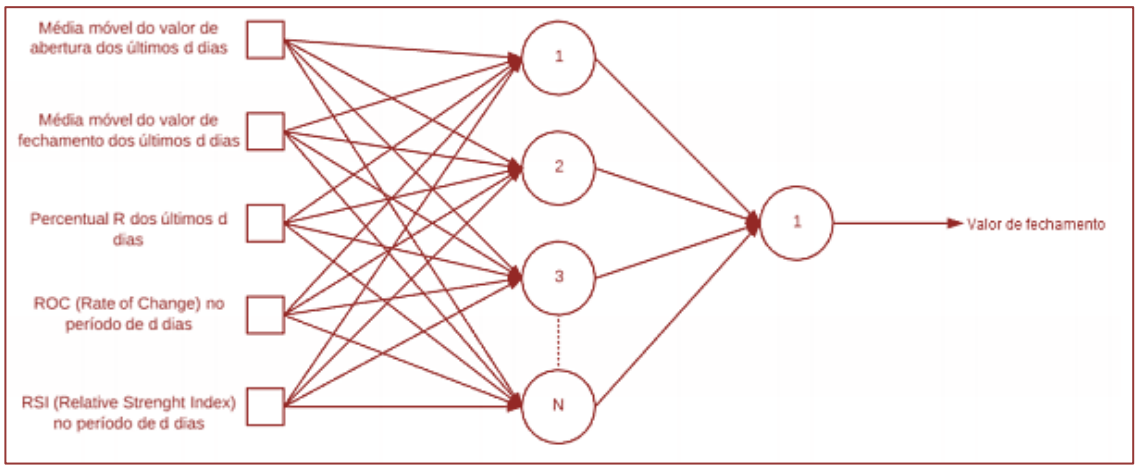
Para a utilização dos dados nos treinamentos e testes das RNAs, faz-se necessário a realização de um pré-processamento dos dados, denominado de normalização. De acordo com Silva, Spatti e Flauzino (2010), este processo objetiva escalonar as amostras de dados para uma faixa de valores dinâmica das funções de ativação das camadas escondidas, a fim de evitar o ruído dos dados externos à rede.

Além disto, foi utilizada neste trabalho, uma técnica denominada validação cruzada por amostragem aleatória, onde 70% do conjunto total de dados disponíveis foram escolhidos de forma aleatória para o subconjunto de treinamento e os 30% restantes compuseram o subconjunto de teste e validação.

4.2. RNA PROPOSTA

As RNAs construídas neste trabalho são do tipo MLP e possuem cinco entradas, uma camada oculta com *n* neurônios e um neurônio na camada de saída (ver Figura 2).

Figura 2: Modelo de RNA para previsão do índice S&P500



Conforme observado na Figura 2, os parâmetros de entrada do modelo de RNA apresentado, contém além de médias móveis de *d* dias do valor de abertura e fechamento do índice, 3 indicadores técnicos, sendo eles: Percentual R, *Rate of Change* (ROC) e *Relative Strenght Index* (RSI), onde suas definições podem ser acompanhadas através do trabalho de Krieger (2012).

A escolha de tais parâmetros de entrada, se deu através da análise de trabalhos correlatos, como em Krieger (2012) e Roque (2009), identificando os melhores dados de entrada dos mesmos e montando um modelo com a mescla destes parâmetros.

As RNAs utilizadas nesta pesquisa foram construídas, treinadas e testadas utilizando-se a *toolbox* de Redes Neurais do software Matlab. As funções de ativação utilizadas na camada escondida das redes foram a TANSIG (sigmoide tangente hiperbólica) e LOGSIG (sigmoide logística). Na camada de saída foi utilizada a função purelin (linear). Os algoritmos de treinamento utilizados foram o TrainLM (Levenberg-Marquardt)

e TrainBR (Regularização Bayesiana).

4.3. ÍNDICES PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DE PREVISÃO

Os índices para avaliação da qualidade da previsão adotados neste trabalho foram o MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto) e o RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio). Suas equações são representadas a seguir:

O MAPE pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^{n} \frac{|t_k - o_k|}{(t_k + o_k)/2} \cdot 100 \quad (1)$$

Por sua vez, o RMSE é definido por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(t_k - o_k)^2}{n}} \quad (2)$$

Onde, de acordo com Zafari, Kianmehr e Abdolahzadeh (2013), para ambos os casos, t_k é a saída esperada na amostra k (valor alvo ou observado), o_k é a saída da rede (valor previsto) para a amostra k e n é o número total de amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização dos treinamentos, foram modeladas 48 configurações de RNAs, variando o algoritmo de treinamento entre o TrainLM e TrainBR, a quantidade de neurônios da camada oculta entre 3 e 15 (isto porque percebeu-se via testes, que acima de 13 neurônios havia perda de desempenho) e função de ativação (entre LOGSIG e TANSIG). Cada configuração de RNA foi treinada 30 vezes, e dentre estes treinamentos, foi escolhida a rede com menor RMSE, como sendo a melhor rede daquela configuração.

A seguir, as melhores topologias foram comparadas entre si, objetivando identificar as 2 melhores RNAs, ou seja, a rede com melhor MAPE e a rede com melhor RMSE. A rede com menor RMSE utilizou 50 dias uteis para as médias móveis, algoritmo de treinamento TrainLM com função de ativação LOGSIG e 11 neurônios na camada oculta. Já a RNA com menor MAPE, utilizou 5 dias para as médias móveis, algoritmo de treinamento TrainBR, com função de ativação LOGSIG e 9 neurônios na camada oculta.

Os resultados produzidos por estas duas RNAs são apresentados na Tabela 1, onde as colunas RMSE Trei. e MAPE Trei. são dados dos índices de qualidades obtidos no período de treinamento entre 20/04/2011 e 21/10/2016, e as colunas RMSE Tes. e MAPE Tes. representam os dados de testes compreendidos entre 20/04/2011 até 19/04/2016.

Tabela 1: Desempenho das melhores configurações

Rede	RMSE Trei.	MAPE Trei.	RMSE Tes.	MAPE Tes.
Melhor RMSE Trei.	0.01132	2.2694	0.000299	1.25339
Melhor MAPE Trei.	0.01245	2.1746	0.000400	1.71788

Na Figura 3 são apresentados graficamente os valores reais do índice e os previstos pela rede com melhor RMSE, e por sua vez, a Figura 4 apresenta a comparação estre os valores reais e previstos para a rede com melhor MAPE.

Figura 3: Comparação entre valor real do índice e previsão da rede com melhor RMSE

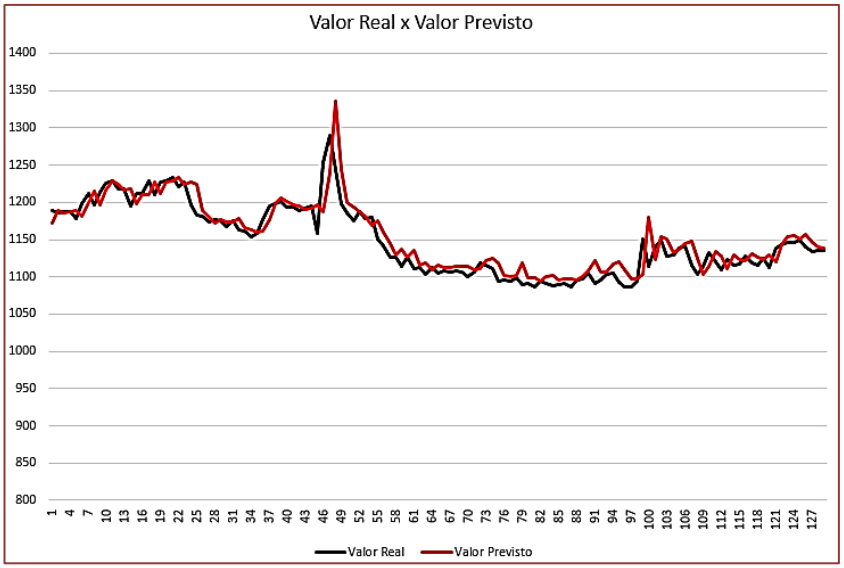
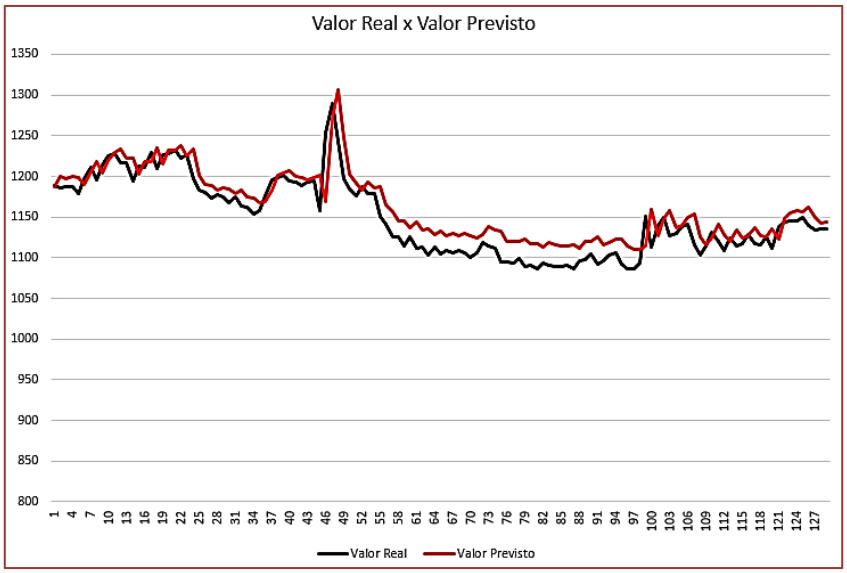


Figura 4: Comparação entre valor real do índice e previsão da rede com melhor MAPE



Os resultados apresentados por ambas as redes demostram a possibilidade de realizar a previsão do valor de fechamento do índice S&P 500 com o período de um dia de antecedência, apresentando um erro médio percentual absoluto (MAPE) abaixo de 2,5%. Vale ressaltar que, como toda modelagem matemática, a generalização dos resultados obtidos através desta pesquisa, não pode ser utilizada diretamente para outros casos (outros índices ou ações da bolsa), visto que para cada caso, necessita-se de um estudo objetivando encontrar a melhor configuração para aquele caso.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho descreve a modelagem de Redes Neurais Artificiais para realizar a predição do valor de fechamento do índice S&P 500 da bolsa de valores de Nova Iorque. O tipo de Rede Neural utilizada neste trabalho foi a Multilayer Perceptron, onde foram criadas configurações variando o algoritmo de treinamento entre o TrainLM e TrainBR, a função de ativação dos neurônios da camada oculta entre LOGSIG e TANSIG e a quantidade de neurônios na camada oculta, que ficou entre 3 e 15. Ainda assim, cada configuração de rede foi treinada 30 vezes para tentar diminuir os efeitos causados pela aleatoriedade dos valores iniciais.

Para avaliar o desempenho das redes modeladas, foram utilizadas as métricas de erro RMSE e MAPE. Onde a partir desses índices de avaliação de qualidade, foram selecionadas as duas melhores configurações, sendo estas, a rede com melhor RMSE e a com melhor MAPE. A rede com melhor RMSE, apresentou no período de testes, os valores 0.000299 e 1.25339 para o RMSE e o MAPE, respectivamente. Enquanto a rede com melhor MAPE apresentou RMSE e MAPE de 0.0004 e 1.71788 respectivamente.

Os resultados apresentados pelas redes demostram que é possível fazer a previsão do índice S&P 500 com um dia de antecedência, utilizando como entrada das RNAs dados históricos do índice e indicadores de análise técnica. No estudo de caso realizado obteve-se um MAPE abaixo de 5%, ou seja, houve um percentual de acerto acima de 95%.

A partir do presente trabalho vislumbra-se algumas possibilidades de continuidade. Uma possibilidade de continuidade é a comparação com outros modelos baseados em Redes Neurais, tais como, as RNAs de arquitetura recorrentes ou a rede RBF, que pode ser usada nos mesmos tipos de problemas que a MLP. A realização de comparações entre o modelo de previsão baseado em Redes Neurais Artificiais com outros modelos de predição de índices da bolsa de valores, como, por exemplo, modelos estatísticos ou outros modelos que trabalhem com séries temporais também é uma possibilidade.

REFERÊNCIAS

[1] BM&FBOVESPA. Programa de Qualificação Operacional: Apresentação da Certificação Profissional do PQO, 2016.

[2] KRIEGER EDUARDO, Paulo. Uso de Redes Neurais Artificiais para Predição da Bolsa de Valores. 2012. 91 folhas. Trabalho Técnico-científico de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

[3] LAGIOIA, U. C. T. Fundamentos do Mercado de Capitais. Editora Atlas, 2007

[4] RÊGO, R. H. T; MUSSA, A. Anomalias do mercado acionário: A verificação do efeito feriado no IBOVESPA e IBX-100 no período de 2002 a 2007. Congresso USP de Controladoria e Contabilidade, n. 8, 2008. São Paulo.

[5] ROQUE, R. C. Estudo sobre a empregabilidade da previsão do índice BOVESPA usando Redes Neurais Artificiais. 2009. 101 f. Escola Politécnica, Departamento de Eletrônica e de Computação, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

[6] SIEGEL, J. J. Investindo em ações no longo Prazo: O guia indispensável do investidor no mercado financeiro. 5. Ed. Editora Bookman, 2015.

[7] SILVA, I. N. DA; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas. São Paulo: Artliber, 2010.

[8] SOARES, D. G; TEIVE, R. C. G. Previsão de Cheias do Rio Itajaí-Açu Utilizando Redes Neurais Artificiais. Computer on the beach, 2015.

[9] TSAIH, R. HSU, Y. LAI, C.C. Forecasting S&P 500 stock index futures with a hybrid AI system. Decision Support Systems 23 1998 161–174 (1998) 163

[10] WANG, J-Z, WANG, J-J, ZHANG, Z-G, GUO, S-P. Forecasting stock indices with back propagation neural network. Expert System with Applications, 38 (2011) 14346–14355

[11] YUDONG, Z. LENAN, W. Stock market prediction of S&P 500 via combination of improved BCO approach and BP neural network. Expert Systems with Applications 36 (2009) 8849–8854

[12] ZAFARI, A.; KIANMEHR, M. H.; ABDOLAHZADEH, R. Modeling the effect of extrusion parameters on density of biomass pellet using artificial neural network. International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture, v. 2, n. 1, p. 9, 2013.

Capítulo 24

Aplicação do Modelo de Brady e Cronin na avaliação da qualidade de serviços utilizando a Técnica de Regressão Logística

Teófilo Câmara Mattozo
Gutembergue Soares da Silva
André Pedro Fernandes Neto
José Alfredo Ferreira Costa

Resumo: Nos últimos anos a satisfação do cliente e a sua avaliação envolveram parte das preocupações dos gestores, dos pesquisadores em marketing e das organizações interessadas na implantação de programas de qualidade. Na realidade atual onde o cliente está mais informado e exigente, a avaliação sistemática traz bons resultados como modo de realimentar e direcionar os esforços de uma organização sob a visão de seus clientes. Este estudo foi realizado para avaliar a satisfação do cliente na condição de passageiros no Aeroporto Internacional Augusto Severo em Parnamirim/RN e procurando também identificar as dimensões que mais contribuem no resultado da avaliação da satisfação geral dos passageiros. Foi realizada uma revisão da literatura que serviu como base para a pesquisa, a partir da qual foi identificado o modelo de Brady e Cronin, para a aferição do nível de satisfação quanto à qualidade dos serviços prestados, em função de sua abrangência temporal e espacial, correlata aos sistemas de transporte aéreo, tendo o mesmo sido utilizado como referencial do modelo proposto. Os resultados mostram que as dimensões determinantes foram significativas na explicação da satisfação geral, baseados na aplicação da regressão logística. O modelo estatístico formulado revelou-se bem ajustado e com boa capacidade de explicar o comportamento da satisfação do passageiro. Os principais problemas identificados foram: atitude dos funcionários, concepção das instalações e tempo de espera. Limitações identificadas e sugestões para melhorias forma abordadas.

Palavras–Chave: Satisfação do Cliente; Modelo de Brady e Cronin; Mineração de Dados, Regressão Logística.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, os aeroportos vêm ganhando relevância, uma vez que o avião vem se mostrando uma alternativa de transporte importante, mesmo em face às atuais crises que o setor aéreo nacional tem enfrentado. Tendo em vista a importância e o crescimento apresentado pelo setor, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos que promovam a otimização dos procedimentos operacionais em um aeroporto e, consequentemente, um aumento da qualidade do serviço do mesmo. Deste modo, torna-se imprescindível determinar o grau de satisfação com a qualidade dos serviços prestados. Monitorar a satisfação dos clientes em um setor como o de transporte aéreo torna-se cada vez mais importante, no contexto brasileiro, em virtude das constantes mudanças no cenário da aviação civil nacional nos últimos cinco anos, culminado recentemente com a concessão de importantes aeroportos à iniciativa privada.

A fim de medir e monitorar a satisfação do cliente e tomar medidas para melhorá-lo, diferentes métodos estão sendo desenvolvidos e testados. A técnica do Data Mining (DM) têm sido utilizado com esta finalidade, permitindo a análise de problemas complexos, de difícil resolução através das abordagens mais convencionais, sendo por isso cada vez mais utilizada nas diferentes áreas da gestão, em particular no marketing. DM é uma metodologia para melhorar a quantidade e eficiência das decisões, sejam elas científicas ou de negócios.

As técnicas de DM são aplicadas com o objetivo de obter conhecimento através da pesquisa de informação estratégica, da determinação de padrões, classificações e associação entre elas (Goebel & Gruenwald, 1999), sendo a análise de regressão uma técnica potencialmente útil. Os algoritmos de regressão se caracterizam por procurarem a descoberta de fórmulas, sendo investigadas representações que mapeiem cada entidade para um valor numérico, ao invés de se procurar regras, *frames* ou árvores capazes de mapear cada entidade para uma classe (Fayyad et al., 1996).

2. OBJETIVOS, PROBLEMA DA PESQUISA E RELEVÂNCIA

A presente pesquisa objetiva avaliar o nível de satisfação dos passageiros em relação à qualidade dos serviços prestados e identificar os atributos determinantes da satisfação dos passageiros que utilizam os serviços oferecidos pelo Aeroporto Internacional Augusto Severo em Parnamirim/RN, através da aplicação adaptativa do modelo de Brady e Cronin (2001).

A maioria dos terminais aeroportuários no Brasil tem registrado índices de demanda que excedem suas capacidades, principalmente nos horários de maior movimento, comprometendo a qualidade do serviço. Este fato é decorrente do crescimento constante do fluxo turístico em particular, em Natal que é uma cidade que tem o turismo como uma de suas principais fonte de renda. A preocupação com a qualidade de serviços, bem como a falta de capacidade dos terminais de passageiros é bastante relevante, e tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, explorando o desenvolvimento de metodologias que possam mensurar estes problemas, trabalhando com análise do nível de serviço com a utilização de índices padronizados.

O turismo no Brasil apresenta resultados positivos nos últimos anos e vem se consolidando no País como um importante vetor de desenvolvimento socioeconômico. Neste cenário, a realização da Copa do Mundo de Futebol FIFA em 2014, constitui grande oportunidade para o turismo de Natal e para a imagem do Brasil no exterior. Desta forma, mais do que nunca se torna necessário um estudo sobre o acolhimento nos terminais aeroportuários no sentido de torná-los locais mais agradáveis para quem os utiliza.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

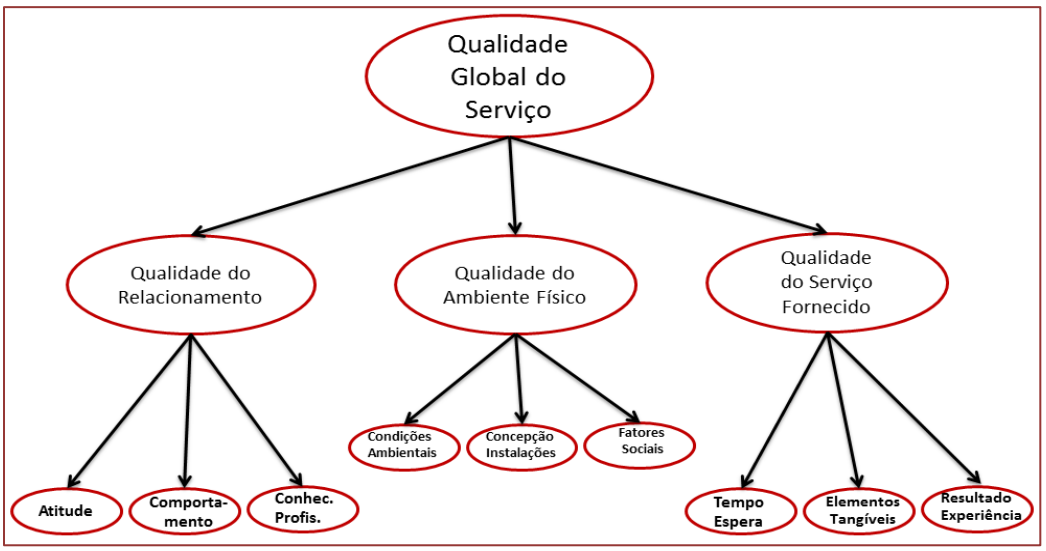
No que se refere a modelos de avaliação da qualidade em aeroportos, foi identificado à pesquisa realizada por Chau e Kao (2009), que aplicou o modelo SERVQUAL para caracterizar os fatores críticos de desempenho das linhas aéreas, explorando as diferenças e expectativas entre dois aeroportos situados em localidades bem distintas, Inglaterra e Taiwan. O trabalho concluiu que existe uma diferença significante entre o valor percebido e o esperado da qualidade dos serviços, que é afetada apenas por alguns fatores como educação, profissão e renda.

Especificamente para aplicação em aeroportos, Fodness e Murray (2007) desenvolveram um modelo conceitual de qualidade de serviços, conduzindo uma pesquisa empírica para avaliação das expectativas dos passageiros desta indústria de serviços. O modelo proposto contempla três dimensões primárias: *servicescape* (abrangendo as sub dimensões layout, condições ambientais e sinalização), *service personnel*

(abrangendo as sub dimensões atitude. comportamento e conhecimentos técnicos) e *services* (abrangendo as sub dimensões produtividade, manutenção e integridade). Os resultados sugerem que as expectativas da qualidade dos serviços nos aeroportos para os passageiros estão estruturadas em três dimensões primarias com suas respectivas sub dimensões: função (eficiência, eficácia), interação e diversão (produtividade, manutenção e decoração).

Brady e Cronin (2001) apresentaram uma nova medida para a Qualidade do Serviço Percebido, recorrendo a um modelo hierárquico. Numa fase inicial, os autores realizaram um estudo qualitativo e quantitativo, direcionado para oito serviços distintos, com o intuito de identificarem as sub dimensões e os itens que os consumidores associavam às componentes de ordem superior: Qualidade do Relacionamento, Qualidade do Ambiente Físico e Qualidade do Serviço Fornecido. Aos inquiridos foi pedido que listassem todas as variáveis que influenciavam as suas percepções em cada uma das três componentes referidas, as quais foram alvo de categorização e posterior refinamento.

Figura 1 - Modelo formulado



Fonte: Adaptado pelos autores a partir do modelo de Brady e Cronin

Em termos globais, a conceituação do modelo é apresentada pela Figura 1, o qual contém uma componente de mensuração e uma componente estrutural. Cada uma das dimensões primárias (Qualidade do Relacionamento, Qualidade do Ambiente Físico e Qualidade do Serviço Fornecido) têm respectivamente três sub dimensões, sobre as quais os clientes fazem as suas avaliações para obter as suas percepções sobre o desempenho das organizações em cada uma das dimensões primárias que levarão à percepção da qualidade global do serviço. Para avaliação de cada uma das nove sub dimensões são colocadas, três questões de natureza diferente: uma de confiabilidade, uma de compreensibilidade e uma de empatia.

4. METODOLOGIA

4.1. DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA AMOSTRA E DESENHO DO QUESTIONÁRIO

A parte inicial do questionário aplicado contém informações sobre as variáveis de caracterização, ou seja: sexo, estado civil, idade, grau de escolaridade, renda familiar média mensal, nível do cargo na empresa em que trabalha, quantidade de viagens que faz por ano, motivos da viagem e país e cidade onde mora. Na parte final foram expostas as variáveis relativas ao conteúdo da pesquisa referentes ao modelo adaptado de Brady e Cronin.

A população alvo do estudo foi constituída por passageiros que utilizaram os serviços oferecidos pelo aeroporto Internacional Augusto Severo em Parnamirim/RN, no período de janeiro a fevereiro de 2011(período de alta estação) e as entrevistas foram efetuadas nas salas de embarque ou desembarque dos voos nacionais e internacionais. O processo utilizado para a obtenção das amostras necessárias para a realização da pesquisa sobre a satisfação dos usuários foi estruturado através de um plano amostral com intervalo de confiança de 95% e margem de erro máxima de cinco pontos percentuais (5%), considerando a maior variância em variáveis, ou seja, o pior cenário em termos de variância (Malhotra, 2001). O cálculo do tamanho da amostra foi realiza com base na estimativa da proporção populacional. Para atingir o nível de confiança e a margem de erro tolerável escolhidos, a amostra (385 questionários) foi determinada com base no procedimento descrito em Larson e Farber (2010).

4.2. MODELO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA

A escolha das técnicas de mineração de dados dependerá da tarefa específica a ser executada e dos dados disponíveis para análise. Harrison (1998) sugere que a seleção das técnicas de mineração de dados deve ser dividida em dois passos: 1) traduzir o problema de negócio a ser resolvido em séries de tarefas de mineração de dados; 2) compreender a natureza dos dados disponíveis em termos de conteúdo e tipos de campos de dados e estrutura das relações entre os registros. Essa escolha pode ser baseada, também, em critérios para classificação das técnicas. Uma relação desses tipos de critérios é dada por Harrison (1998).

A regressão logística é amplamente utilizada para modelar os resultados de uma variável dependente categórica. Para as variáveis categóricas é inapropriado usar a regressão linear porque os valores de resposta não são medidos em uma escala de proporção e os termos de erro não são normalmente distribuídos. Além disso, o modelo de regressão linear pode gerar valores previstos como qualquer número real variando de negativo para positivo infinito, enquanto que uma variável categórica só pode assumir um número limitado de valores discretos dentro de uma gama especificada (Hair, et al., 2005).

Análise discriminante linear e regressão logística são métodos estatísticos multivariados amplamente utilizados para análise de dados com variáveis categóricas de saída. Ambos são apropriados para o desenvolvimento de modelos de classificação lineares, ou seja, os modelos associados com limites lineares entre os grupos. No entanto, os dois métodos diferem na sua ideia básica. Enquanto a regressão logística não faz suposições sobre a distribuição dos dados explicativos, a análise discriminante linear foi desenvolvida para variáveis explicativas normalmente distribuídas. Sempre que as variáveis explicativas não são normalmente distribuídas, o uso da análise discriminante linear é teoricamente errado, pois os pressupostos são violados. O ajuste de bondade é, portanto, apenas mais ou menos coincidente. Por outro lado, a regressão logística se adapta bem a muitos tipos de distribuição. Ao se comparar a robustez para categorização, análise discriminante linear é o método indicado se o número de categorias é grande o suficiente para permitir que a média e a variância estimada estejam próximas dos valores da população das variáveis contínuas explicativas. Geralmente, cinco categorias são suficientes, mas no caso de duas ou três categorias, as vantagens da regressão logística prevalecerão (Johnson e Wichern, 2002).

Pelo exposto, o estudo relativo à satisfação geral dos passageiros foi feito tendo como base o modelo de regressão logística, sendo possível determinar características especificas dos diversos grupos de passageiros segmentados de acordo com a satisfação que apresentam. O modelo de regressão logística apresenta características (Menard, 2002) que o tornam mais apropriado quando comparado com o modelo de regressão linear. Como exemplo disso, e tendo em conta que a grande maioria dos estudos de satisfação utiliza escala de Likert onde se desconhece o significado das distancias entre as classificações atribuídas, por exemplo, entre “concordo” e “concordo totalmente”, é mais correta à utilização de um modelo que considere somente as classificações. Por outro lado, o modelo em questão permite a segmentação dos inquiridos por pontos de corte, o qual possibilita uma analise complementar que não seria possível caso se utilizasse o modelo de regressão linear (Mattozo, et al., 2012).

Baseado na notação proposta por Hosmer e Lemeshow (2000) o modelo de regressão logística empregado neste estudo, também conhecido como modelo logístico binário, é dado pela equação (1).

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 x}}{1 + e^{(\beta_0+\beta_1 x)}} \quad (1)$$

onde "π (x)" representa a probabilidade associada a x, "e" é o vetor de coeficientes a ser estimado, caracterizado como um valor fixo a base dos logaritmos naturais, e"βo + β1" são os vetores das variáveis explicativas associadas ao evento. Na regressão logística, em virtude de sua natureza dicotômica, os coeficientes da regressão são estimados a partir da aplicação do método de máxima verossimilhança que gera uma combinação de coeficientes o qual maximiza a probabilidade da amostra. A transformação é definida em termos de "π (x)", como representado na equação (2).

$$g(x) = \left[\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right] = \beta_{0+}\, \beta_1 x \ldots \infty \quad (2)$$

onde $[1 - \pi(x)]$ representa a probabilidade de não ocorrer o evento $\left[\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right]$ representa a razão das probabilidades, "βi" representa os coeficientes estimados e x representa as variáveis independentes (Walter, et al., 2010).

De modo a avaliar a qualidade do modelo de regressão logística interessa, igualmente, medir o grau de associação e a variação total da variável dependente e as variáveis independentes. Na regressão logística utilizam-se medidas que visam atestar a adequação do modelo.

Dentre essas medidas, chamadas de pseudos R^2, podem-se destacar a estatística de Cox&Snell R^2 e a de Nagelkerk R^2(Larose, 2006), onde:

• Cox & Snell é calculado como:

$$R^2_{CS} = 1 - e^{\frac{2\{LL_C - LL_O\}}{n}} \quad (3)$$

onde esta estatística nunca atinge o valor de 1, mesmo quando o ajustamento e perfeito;

• Nagelkerke que tem como estatística:

$$R^2_N = \frac{R^2_{CS}}{1 - e^{\frac{2LL_O}{n}}} \quad (4)$$

sendo que esta estatística foi elaborada com o fim de fazer face a principal limitação da estatística anterior, e deste modo, os valores só podem variar entre [0,1].

No modelo de regressão logística, as equações são não lineares nos parâmetros e desta forma, requer-se o uso de um procedimento iterativo conhecido como o método de Newton-Raphson. De forma resumida, este método pode ser descrito como segue. O primeiro passo requer o uso de uma solução inicial (candidato) para os valores que maximizam a função de verossimilhança. A função é aproximada, em uma vizinhança da solução inicial por um polinômio de segundo grau. A segunda solução obtida, no processo

iterativo, é o ponto de máximo valor do polinômio, e assim por diante. Dessa forma o método de Newton-Raphson gera uma sequência de soluções que convergem para o ponto de máximo da função de verossimilhança (Pampel, 2000).

4.3. ANÁLISE DOS DADOS

O tratamento estatístico foi efetuado recorrendo ao programa *Statistical Package for Social Science* (SPSS 17.0), a partir do qual foi utilizado um modelo de regressão logística que faz parte das técnicas multivariadas para descrever as relações entre uma variável resposta dicotômica, que representa duas possibilidades de respostas (sucesso ou fracasso), atribuindo o valor um para o evento de interesse e o valor zero para o evento complementar, estabelecendo a probabilidade de um indivíduo pertencer a uma das duas categorias (variável dependente) a partir de outras varáveis (determinantes), diferente do modelo de regressão linear que possui respostas com variáveis contínuas (Fávero, et al., 2009).

O fundamento da regressão logística se estabelece, para avaliar o ajustamento global, na comparação entre dois modelos. Um que considera apenas o intercepto, o qual é denominado "constante" pelo SPSS (neste contexto, informa-se quão bem a variável dependente pode ser predita, sem o emprego de variáveis independentes) e o outro que leva em consideração todas as variáveis independentes. Na comparação entre os modelos, é que se pode avaliar se as referidas variáveis contribuem para explicar a satisfação geral.

O modelo de regressão logística foi estimado utilizando o método *Forward Stepwise* (*Likelihood Ratio*). Este método de busca sequencial serve para estimar a equação de regressão com um conjunto de variáveis sendo acrescentado seletivamente ou eliminado variáveis até que uma medida de critério geral seja alcançada, ou seja, o processo é repetido até que a solução encontrada represente a solução com melhor ajustamento (Norusis, 2004). À medida que as novas variáveis são inseridas no modelo, melhora a bondade do ajustamento, uma vez que a estatística -2 Log likelihood exibe sucessivas reduções. Desde que haja conclusão que os determinantes contribuem para explicar a satisfação global, realiza-se a verificação da contribuição de cada determinante através do valor de Nagelkerk R^2.

Foram consideradas como determinantes da satisfação geral as três dimensões que refletem os aspectos de Qualidade do Relacionamento, Qualidade do Ambiente Físico e Qualidade do Serviço Fornecido (Figura 1). Neste artigo, a variável dependente é a satisfação geral. A opinião dos passageiros foi classificada em dois grupos: muito satisfeitos (resposta à pergunta sobre a satisfação geral igual ou maior que 6) e moderadamente satisfeitos (satisfação geral entre 3 e 5). Como não ocorreu resposta com valor inferior a 3 para a satisfação geral, a regressão logística binária foi aplicada.

Para medir a confiabilidade da escala foi utilizado o coeficiente alfa de Cronbach (α), que mede a homogeneidade dos componentes da escala. Em geral, considera-se satisfatório um instrumento de pesquisa que obtenha $\alpha \geq 0{,}70$ (Hair et al., 2009).

5. RESULTADOS OBSERVADOS

Considerando as dimensões do modelo formulado e seus respectivos itens apresentados na Figura 1 e as informações da Tabela 1, pode-se concluir: A dimensão Qualidade do Relacionamento (QRE) apresentou um valor médio 5 em uma escala de 1 a 7, o que corresponde a uma boa aceitação. Com exceção do item atitude dos funcionários, todos os outros tiveram uma aprovação adequada dos passageiros. Por outro lado, a dimensão Qualidade do Ambiente Físico (QAF) obteve uma média de 5 pontos, na qual apenas o item concepção das instalações foi inferior à média da dimensão correspondente. A dimensão Qualidade do Serviço Fornecido (QSF) apresentou um valor médio 4, sinalizando uma satisfação apenas moderada dos passageiros. A causa deste problema ficou evidenciada através das médias obtidas do item tempo de espera.

Tabela 1 – Comparativo das dimensões do modelo formulado

Dimensão	Quantidade de Itens	Nota da Satisfação Geral	Alfa de Cronbach	Itens com baixa avaliação da Satisfação	
				Itens	Notas
Qualidade do Relacionamento	3	5	0,727	Atitude dos Funcionários	4
Qualidade do Ambiente Físico	3	5	0,732	Concepção das Instalações	4
Qualidade do Serviço Fornecido	3	4	0,784	Tempo de Espera	3

Fonte: elaborado pelos autores

As características do modelo são apresentadas na Tabela 2. A análise dos valores *log-likelihood* do modelo inicial e do modelo final mostra um decréscimo deste valor, indicando que a inclusão destas resulta em um menor número de observações não explicadas. Este resultado permite concluir que acrescentar as dimensões melhora a confiança do modelo em classificar corretamente os passageiros (Tabachnick e Fidell, 2001). De outro modo, o modelo que contém as dimensões consegue prever melhor a que grupo o passageiro pertence (se saiu moderadamente satisfeito ou muito satisfeito).

Tabela 2: Características do modelo

Medidas de Adequação	Valor	Df	Sig
-2 Log likelihood ($\chi 2$) inicial	227,105		
-2 Log likelihood ($\chi 2$) final	100,812		
Nagelkerke R^2	0,69		
Grupo de classificação inicial	74,5%		
Moderadamente Satisfeito	100,0%		
Muito Satisfeito	0,0%		
Grupo de classificação final	88,5%		
Moderadamente Satisfeito	97,3%		
Muito Satisfeito	62,7%		
Teste do coeficiente do modelo ($\chi 2$)	126,3%	2	0,000
Teste de goodness-of-fit de Hosmer e Lemeshow ($\chi 2$)	10,8%	6	0,541

Fonte: elaborado pelos autores

A precisão da classificação reflete a capacidade do modelo de prever corretamente a categoria da situação global a qual um passageiro pertence com base nas dimensões. No modelo inicial a exatidão da classificação é igual à porcentagem de indivíduos no grupo com maior incidência (neste estudo, os passageiros moderadamente satisfeitos). Ao adicionar as dimensões ao modelo, pode-se então avaliar até que ponto a exatidão da classificação aumenta, permitindo esta análise compreender melhor a performance do modelo da regressão (Moital e Dias, 2009). Neste modelo, a adição das dimensões aumentou a exatidão da classificação, estabelecendo-se as porcentagens de casos corretamente classificados acima dos 88%.

A medida de *Nagelkerke*, que funciona como um Pseudo R^2, também contribui para verificar até que ponto adicionar dimensões melhora o modelo (Kleinbaum, 1994), sendo normalmente utilizada como uma medida aproximada da variância explicada na variável dependente pelas dimensões (Field, 2000). O valor de *Nagelkerke* sugere que o modelo é capaz de explicar uma boa proporção da variância na satisfação global. As três dimensões explicam quase 70% da variância na satisfação global.

A Tabela 3 mostra as variáveis que entraram no modelo, bem como os seus coeficientes e os resultados do teste de significância das dimensões. Na coluna "B (coeficientes)", são apresentados os coeficientes do modelo para cada dimensão, os quais foram obtidos na terceira etapa do processamento da busca sequencial.

Na coluna "SE (Erro Padrão)", é apresentada uma medida de variabilidade destes coeficientes. Os coeficientes de regressão logística das referidas dimensões apresentam significância estatística, conforme indicado pelo teste Wald (análogo ao teste *t* da regressão múltipla).

A coluna "*Exp(B)*" é o exponencial dos coeficientes estimados de cada categoria das variáveis do modelo e indica a chance de um passageiro migrar da condição de moderadamente satisfeito para muito satisfeito, se uma das dimensões validadas no modelo aumentar em uma unidade.

Por exemplo, considerando a dimensão Qualidade do Relacionamento que obteve um *Exp(B)* de 12,414 indica que um incremento de uma unidade na satisfação com esta dimensão eleva em 12,414 vezes a probabilidade de uma pessoa passar de moderadamente satisfeito para muito satisfeito na avaliação da satisfação geral.

Tabela 3: Determinantes da satisfação

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 3	QRE	2,519	0680	13,719	1	0,000	12,414
	QAF	1,175	0543	4,679	1	0,031	3,238
	QSF	1,246	0453	7,570	1	0,006	3,476
	Constant	-25,761	5,622	20,997	1	0,000	0,000

Fonte: relatório adaptado do SPSS

Os resultados sugerem que todas as dimensões do modelo teórico adaptado, nomeadamente em ordem decrescente de importância: Qualidade do Relacionamento, Qualidade do Serviço Fornecido e Qualidade do Ambiente Físico, são estatisticamente significativas para explicar a satisfação geral dos passageiros.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos gerais deste trabalho foram avaliar o nível de satisfação dos passageiros em relação à qualidade dos serviços prestados e identificar os atributos determinantes da satisfação dos passageiros que utilizaram os serviços oferecidos pelo Aeroporto Internacional Augusto Severo em Parnamirim/RN, O estudo abordou como técnicas de mineração de dados podem ajudar os gestores na compreensão de como seus clientes avaliam a qualidade das experiências de serviço. Os dados obtidos sugerem a aplicabilidade conveniente do modelo hierárquico de Brady e Cronin e indicaram que para aumentar o nível de satisfação dos passageiros demanda melhorar o desempenho do conjunto de dimensões, em especial, qualidade do relacionamento (o maior coeficiente na equação de regressão), que representam as maiores influências na composição da Satisfação Geral. O índice final obtido de Satisfação Geral no valor de cinco pontos demonstrou que os passageiros não estão totalmente satisfeitos com os serviços oferecidos nos terminais do aeroporto pesquisado. Os principais problemas identificados foram: atitude dos funcionários, concepção das instalações e tempo de espera.

Os resultados mostraram que as dimensões determinantes foram significativas na explicação da satisfação geral, baseados na aplicação da regressão logística como método de modelagem de dados. O modelo estatístico formulado revelou-se bem ajustado e com boa capacidade de explicar o comportamento da satisfação do passageiro. Além disso, o alto grau de confiabilidade da escala mostra ser possível a sua replicação.

Esforços em pesquisa, podem ser feitos, no sentido de levar em consideração os passageiros em trânsito, de forma a avaliar os diferentes serviços que esse processo oferece e as suas particularidades. Verificando, desta forma, se um período muito longo de tempo entre os voos levaria os passageiros a observar, ainda mais, as instalações e a qualidade de serviços dos quais se utilizaram, porque o aeroporto em análise é ponto de terminação. Uma análise das diferenças de satisfação e percepção entre passageiros de voos domésticos e internacionais também poderia trazer resultados interessantes quanto ao nível de satisfação desses passageiros. Estudos futuros poderão aumentar a dimensão da amostra e assim obter questionários suficientes para analisar os determinantes da satisfação dos passageiros de outras nacionalidades.

REFERÊNCIAS

[1] Brady, Michael K.; Cronin, J. Joseph. Some New Thoughts on Conceptualizing Perceived Service Quality: A Hierarchical Approach. *Journal of Marketing*, 65 (July), p.34-49, 2001.

[2] Chau, V. S., Kao, Y. Bridge over troubled water or long and winding road? Gap-5 in airline service quality performance measures. *Managing Service Quality*, 19 (1), p.106-134, 2009.

[3] Dabholker, Prathiba, Thorpe, Dayle I. e Rentz Joseph O. A. Measure of Service Quality for Retail Stores, *Journal of The Academy of Marketing Science*, 24 (Winter), p.3-16, 1996.

[4] Draper, N. R., Smith, H. *Applied Regression Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1981.

[5] Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P. From Data Mining to Knowledge Discovery: An Overview. In: *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. Menlo Park: AAAI Press, n.611, p.11-34, 1996.

[6] Fávero, L. P, Belfiore, P, Silva, F. L., Chan, B. L. *Análise de Dados: modelagem multivariada para tomada de decisão.* Rio de Janeiro: Campus, 2009.

[7] Fodness, D., Murray, B. Passengers' expectations of airport service quality. *Journal of Services Marketing*, n.21, p.492-506, 2007.

[8] Goebel, M., & Gruenwald, L. A survey of data mining and knowledge discovery software tools. *ACM SIGKDD*, 1(1), p.20–33, 1999.

[9] Larose, D. T. *Data Mining Methods and Models*. John Wiley & Sons, inc, 2006.

[10] Larson, R., Faber, B. *Estatística Aplicada*. 4º ed. São Paulo: Pearson, 2010.

[11] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. *Análise Multivariada de Dados*. 6º ed., São Paulo: Bookman, 2009.

[12] Hosmer, D., Lemeshow, S. W. *Applied Logistic Regression*. Nova York: Wiley, 2000.

[13] Johnson, R.A. and Wichern D.W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

[14] Kleinbaum, D.G. *Logistic Regression: A self-Learning Text*. Nova Iorque: Springer-Verlag, p.282, 1994.

[15] Malhotra, N. K. *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. 3º ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

[16] Mattozo, T. C. Silva, G. S., Neto, A. P. F., Costa, J. A. F. Application of adaptive model Fodness and Murry the evaluation of passenger satisfaction in Augusto Severo international airport using multivariate regression. *9th CONTECSI International Conference on Information System and Tecnology*, Brazil, 2012.

[17] Menard, S. *Applied Logistic Regression Analysis*. Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-106, Thou- sand Oaks: Sage, 2002.

[18] Moital, M., Dias, R. Determinantes da Satisfação do Turista de Golfe em Lisboa: uma Comparação entre Britânicos e Nórdicos. *III Congresso Internacional de Turismo de Leiria e Oeste* - Portugal. Acesso em 16/11/2011, http://cassiopeia.esel.ipleiria.pt/esel_eventos/files/3903_16_MiguelMoital_4bf56a9848710.pdf, 2009.

[19] Norusis, M. *SPSS 13.0 Guide to Data Analysis*. Upper Saddle-River, N.J.: Prentice Hall, Inc., 2004.

[20] Pampel, F.C. Logistic Regression - A primer. *Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences*, 07-132. Thousand Oaks: Sage, 2000.

[21] SPSS, Inc. *SPSS Versions 17.0 for Windows*. Chicago: SPSS Inc., 2009.

[22] Tabachnick, B. G. e Fidell, L. S. *Using multivariate statistics*. 4rd ed. Needham Heights: Allyn&Bacon, 2001.

[23] Walter, S.A., Tontini, G., Gomes, L., Silva, W.V., Frega, J. R. Student Loyalty: a logistic regression model. *Revista de Administração FACES Jounal*. 10 (4), p.129-151, 2010.

Autores

AUTORES

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

ADINELE GOMES GUIMARÃES

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002) e doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (2008). Atualmente é professora Associada da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Possui experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, atuando principalmente nos seguintes temas: mecânica dos solos, ensaios de laboratório, fundações, barragens e obras de terra.

ADOLFO BAUCHSPIESS

Possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB -1986, 1990) doutorado (Dr.-Ing.) em Engenharia Elétrica pela Universität Erlangen-Nürnberg/Alemanha (1995). Pós-Doc na Universität Kaiserslautern/Alemanha, 2005-2006 e na University of California, Santa Barbara/USA, 2014. Atualmente é Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília e membro do LARA/UnB - Laboratório de Automação e Robótica. Suas principais áreas de atuação são aprendizado por áquina, eficiência energética em automação predial IoT e identificação de sistemas dinâmicos. Coordenou cooperações internacionais CAPES/DAAD PROBRAL. Lecionou Soft Computing no programa Erasmus Mundus da Comunidade Européia.

ALESSANDRA SUZIN BERTAN

Natural de Clevelândia, PR, é engenheira química pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (campus Francisco Beltrão), mestra e doutoranda em Engenharia Química na Unicamp. Fez parte, em 2019, da equipe vencedora do Desafio Unicamp em inovação e, em 2020, foi premiada com o melhor trabalho na área temática de Extensão em Ciência e Tecnologia no I CoBICET. Proferiu palestras no II COBICET, na Universidade Federal de Campina Grande e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Possui uma patente depositada, dois capítulos de livro publicados, oito artigos publicados em revistas especializadas, bem como cerca de trinta artigos publicados em anais de congressos. Apresenta experiência didática em Fenômenos de Transporte e atua nas áreas de ensino em Engenharia Química e em pesquisa e desenvolvimento de processos de produção e de purificação de fármacos.

ALEX NOGUEIRA BRASIL

Possui Graduação em Engenharia Mecânica - Ênfase em Mecatrônica pela PUC Minas (1998), Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica (Energia e Sustentabilidade) pela UFMG (2002 / 2015) e Pós-doutorado em Biocombustíveis pela UFMG (2018). Foi Conselheiro do CREA-MG por três mandatos (2006-2012) e (2018-2019), Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Biominas Engenharia de Energias (2006-2015) e Coordenador Adjunto do Colégio Estadual de Instituições de Ensino do CREA-MG (2015-2018). Foi Professor Titular da Faculdade de Engenharia da Universidade de Itaúna por dezenove anos (2001-2020) e Oficial Engenheiro da Força Aérea Brasileira (FAB) (2018-2020). Atualmente é Analista de Negócios e Parcerias da Fundação Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep, Professor Visitante do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, Oficial (Engenheiro) da Reserva da Força Aérea Brasileira, Fundador e Desenvolvedor de Negócios na BChem Biocombustíveis Ltda. Consultor ad hoc do MCTI/FAPEMIG no Programa Centelha, possui 3 patentes depositadas no Brasil e 3 nos Estados Unidos, sendo estas licenciadas. Possui experiência em gestão e condução de projetos de PD&I e vivência em modelos de negócios B2B e B2G. Em 2012 recebeu do MCTI (Ministério da

AUTORES

Ciência, Tecnologia e Inovação) o Prêmio Ciência, Tecnologia e Inovação em Biodiesel pelo projeto: Usina Modular para Produção de Biodiesel a Partir de Óleos e Gorduras Residuais. Em 2013 conquistou o primeiro lugar geral em ambas as competições: I2P® Latin America (Idea to Product) e Idea to Product® Global Competition (The University of Texas at Austin). Ainda em 2013 participou do UFMG Challenge, Semana Internacional de Empreendedorismo, conquistando o primeiro lugar geral, bem como o prêmio de maior Impacto Social pelo projeto: Óleo Vivo - Promoção e desenvolvimento de tecnologias para a produção de biodiesel e políticas de reciclagem de óleos e gorduras residuais. Em 2014 foi premiado em segundo lugar mundial no 17° B

ALEXANDRE DIÓRIO

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (PR) com período sanduíche na Universidade do Porto (Portugal). Atua como Professor Colaborador (categoria temporário) no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá. Foi professor de Engenharias na modalidade EAD pela UniCesumar e autor de livros nas áreas de Engenharia Química e correlatas pela Kroton. Atualmente, atua nas seguintes linhas de pesquisa: síntese de materiais avançados (grafeno e seus derivados, piezoelétricos, nanomagnetismo), desenvolvimento de novos adsorventes para tratamento de água e remoção de contaminantes emergentes.

ALEXANDRE S. RODRIGUES

Possui graduado em Engenharia Mecatrônica pela UnB (Universidade de Brasília), 2018. Foi diretor da Inovação na empresa Mecatrônica Júnior de Brasília (Mecajun). Tem experiência na área de Controle, Automação, Robótica, Eletrônica e Programação. Trabalha atualmente é gerente de produto na empresa VTEX, Rio de Janeiro/RJ.

ALLAN DEANGELLE SANTOS MOTA

Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela PUC/MG (2022). Especialista em Gestão de Projetos pela USP/ESALQ (2021). Estudante de Psicologia pela UFES desde 2021. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFES (2019). Ele tem mais de 11 anos de experiência na indústria petroquímica e mais de 7 anos de experiência em gestão de empresas, sendo Sócio Fundador de empresa de venda de equipamentos de robótica educacional e componentes eletrônicos, e Sócio Administrador de franquias. Atua em áreas como: Robótica Educacional, Robótica Assistiva, Sistemas Embarcados, Gestão de Projetos, Gestão de Manutenção, Gestão de Negócios, Varejo Online e Físico, Marketing Digital.

AMANDA FERREIRA GRAVE

Nascida e criada em São Paulo - Brasil, especialista em Lean Six Sigma. Atualmente é líder em projetos relacionados a melhoria contínua e referência em reengenharia de processos. Formada em engenharia de materiais pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, é amante da química e pós graduanda em CX pela ESPM.

ANA CARLA COSTA ANDRADE

Nascida em Brasília, Distrito Federal (DF), Brasil. Possui graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Potiguar (UNP, 2001), graduação em Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2013). Mestre em Ciência e Engenharia de Petróleo (UFRN, 2015) e doutora em Ciência e Engenharia de Petróleo (UFRN, 2021) na área de pesquisa de Automação Industrial e seus interesses incluem Métodos de Elevação Artificial, Redes Neurais e Automação Industrial.

ANA LUÍZA FREITAS FERREIRA

Graduada em Engenharia Química pela UESC (2014), atualmente cursa mestrado na UFBA no laboratório de Catálise e Meio Ambiente (CATAM). Em sua trajetória acadêmica trabalhou com a

AUTORES

síntese de catalisadores e biocombustíveis. Atualmente desenvolve pesquisa com o material mesoporoso SBA-15 aplicado à reação de hidrogenólise do glicerol.

ANA ROSA CARRIÇO DE LIMA MONTENEGRO DUARTE

Possui graduação em Engenharia Química (1992), mestrado em Química (2000) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2009). Atualmente é professor Associado da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Química e Engenharia, com ênfase em Ensino de Química e Planejamento Energético, especialmente no estudo da utilização de biomassa para geração de energia elétrica a sistemas isolados, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas isolados, geração de energia alternativa, desenvolvimento sustentável, sequestro de carbono, mobilidade zero emissão, óleos vegetais e Ensino de Química.

ANDRÉ LAURINDO MAITELLI

Nasceu em Bento Gonçalves-RS, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT, 1986), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UnB, 1988) e doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, 1994). Atualmente é Professor Titular do Departamento de Engenharia de Computação e Automação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação, atuando principalmente nos seguintes temas: automação, inteligência artificial, controle adaptativo, controle preditivo e controle avançado.

ANDRÉ NOGUEIRA BRASIL

Graduado em Comunicação Social pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e em Direito pela Fundação Universidade de Itaúna, possui mais de 20 anos de experiência em comunicação e marketing. Atuou como fotógrafo junto ao Iphan e junto ao fotógrafo Erik Lang em Nova Iorque, onde estudou fotografia. Foi diretor de criação em agências de publicidade de 2007 a 2018 e a atualmente o corpo de trabalho da Assessoria de Comunicação do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan).

ANDRÉ PEDRO FERNANDES NETO

Prof. do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais – DECAM da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e Prof. da UERN. Doutor em Engenharia Elétrica e da Computação pelo PPgEEC da UFRN. Mestre em Engenharia de Produção pela UFRN. Engenheiro Eletricista pela UFRN.

ANDRÉIA ANTLOGA DO NASCIMENTO

Engenheira Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC (1997) com Especialização em Engenharia Mecânica, com ênfase em Metrologia Científica e Industrial e Controle de Qualidade. Pós-Graduação em Administração Contábil Financeira Fundação Armando Álvares Penteado ? FAAP e MBA Executivo pela Fundação Dom Cabral FDC e Pós MBA Executivo pela FDC ? Kellogg- School of Management na Northwestern University. Experiência profissional de 20 anos no setor Elétrico. Atualmente, Gerente do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) na Norte Energia S.A, Brasília.

ANGÉLICA AMARAL DE OLIVEIRA

Doutoranda em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ) da Universidade Federal da Bahia – UFBA. Pós Graduada em Processamento Químico pela Universidade Católica do Salvador – UCSal. Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia. Graduada em Engenharia Química pela Universidade Salvador – UNIFACS. Como pesquisadora, vem desenvolvendo trabalhos na área de catálise heterogênea, combustíveis e

AUTORES

análises físico-químicas. É integrante do Núcleo de Dessulfurização do Grupo de Pesquisas em Catálise e Ambiente - CATAM. Possui foco no estudo das transformações de moléculas sulfuradas presentes na faixa da gasolina e no desenvolvimento de novos catalisadores que promovam a redução de organossulfurados presentes em combustíveis automotivos. Experiência em projetos na área de catálise, combustíveis, caracterização de catalisadores, análises físico-químicas, equipamentos analíticos,

ANTÔNIO HÔRTENCIO MUNHOZ JUNIOR

Possui graduação em Engenharia Química pelas Faculdades Oswaldo Cruz (1987), mestrado e doutorado em Engenharia Química pela USP (1992/1997). Durante o doutorado realizou pesquisa em síntese de zeólitas contendo nióbio, tendo realizado estágio na Michigan State University para caracterizar as zeólitas sintetizadas no Brasil. Atua como Professor Adjunto na UPM.

ÁTHILA LIMA DOS SANTOS

Possui graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade do Estado do Pará (2006), graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2007), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2017). Atuaou como Engenheiro Eletricista da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) desde setembro de 2009. Atualmente é pesquisador e faz parte do quadro de engenheiros responsáveis pelo Centro em Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON), da UNiversidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase nos seguintes temas: projetos de instalações elétricas residenciais, comerciais e industriais, Projetos de Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Fiscalização de Obras, Fiscalização de Contratos Administrativos, Elaboração de Termos de Referências, Elaboração de Projetos Básicos, Elaboração de Editais, Planejamento e operação de sistemas de potência, Qualidade de Energia, Otimização Multiobjetivo e Algoritmos Bio-inspirados, Energia Fotovoltaicas, Eficiência Energética e mobilidade elétrica

BRUNA DOLABELLA EUSTÁQUIO

Tem experiência na área de Engenharia, com ênfase em Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de água, tratamento de efluente e processos de separação.

CAMILA BUENO DE CASTRO

Engenheira de Petróleo pela UFF - Universidade Federal Fluminense e de Segurança do Trabalho pela Faculdade Educamais. Foi membro do PetroPET - Programa de Educação Tutorial e do Capítulo Estudantil SPE, além de precursora da PetroUFF - Semana Fluminense de Petróleo (2014-2016). Estagiou na ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, pela Superintendência de Segurança e Meio Ambiente (2015-2016). Atualmente, bolsista do CNPq, atuando como Agente Local de Inovação, e cursando MBA Executivo com ênfase em Gerenciamento de Projetos pela FGV.

CARLA WILZA SOUZA DE PAULA MAITELLI

Nasceu em Natal-RN, possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 1990) e mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, 1995). Concluiu o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo (UFRN ,2010). Atualmente é professora do Departamento de Engenharia de Petróleo da UFRN, docente colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo - PPGCEP/UFRN e vice-diretora do Centro de Tecnologia da UFRN. Leciona as disciplinas Elevação Artificial de Petróleo e Normas e Práticas para Instalações de Bombeio Centrífugo Submerso. Tem experiência em docência e pesquisa na área de Elevação Artificial e Escoamento de Petróleo e Gás.

AUTORES

CARLOS FRAN FERREIRA DANTAS

Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2011) e mestrado em Ciência da Computação pela associação ampla entre a UERN e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2013). Atualmente, atua como professor efetivo no Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (Campus Apodi). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Web Semântica, Sistemas Web e Sistemas Distribuídos. Atua, principalmente, nos seguintes temas: Desenvolvimento de sistemas e Tecnologias Educacionais

DANIEL ANGELO LONGHI

Graduado (2009) em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Mestre (2012) e Doutor (2016) em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Professor Adjunto do curso de graduação em Engenharia de Alimentos do Campus Avançado em Jandaia do Sul da Universidade Federal do Paraná - UFPR (desde 2014), do qual foi coordenador e presidente do Núcleo Docente Estruturante em duas gestões na implantação (2014-2016 e 2016-2018). Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UDESC (desde 2022) e professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da UFPR (desde 2021). Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Engenharia de Alimentos. Tem atuado (desde 2007) em pesquisas de modelagem matemática preditiva de inativação e crescimento de micro-organismos patogênicos e deteriorantes em alimentos, área em que tem publicado e revisado artigos científicos em periódicos de abrangência internacional.

DANIEL MANTOVANI

Ensino Técnico de Alimentos concluído no ano de 2000 pelo Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET/PR). Conclusão da graduação em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) 2005. Experiência profissional como supervisor no controle de qualidade (Implantação do sistema ISO 9000, BPF, APPCC voltados na produção de ração e suas matérias-primas, pela Cooperativa Agroindustrial Lar, período de 2001 a 2006. Conclusão de especialização na área de Engenharia de Alimentos no ano de 2007 pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professor do ensino superior pela Faculdade União das Américas (UNIAMÉRICA) período, de 2007-2008. Mestre em Agronomia no ano de 2010 pela Universidade Estadual de Maringá. Especialista nas áreas de Métodos e Técnicas de Educação e Gestão Ambiental em Municípios, nos períodos 2010 e 2011 pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná no ano de 2013. Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), 2016-2017. Graduado em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR), 2019. Pós-Doutorado realizado em Engenharia Química na área de processos de separação e controle ambiental, 2015 a 2017. Pós Doutorado 2018 no Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, atuando no monitoramento da qualidade da água na bacia do Rio Pirapó na cidade de Maringá PR. Especialista em Gestão de Projetos, pelo Centro Universitário de Maringá e Gestão de Pessoas pela (UNICESUMAR) 2018 e 2019. Em, 2020 realizou Pós-Doutorado em Desenvolvimento Tecnológico Industrial DTI Nível A. Especialista em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica, 2021 pelo Instituto Federal do Espirito Santo. Em 2021, atua como pesquisado Pós-Doutorado pelo Edital da F.A, CP 13/2020 com Parceria Cooperativa LAR.

DANIEL RIBEIRO DESSAUNE

Engenheiro mecânico com ênfase em mecatrônica formado pela universidade estadual de Pernambuco (UPE) e mestrando em engenharia de sistemas pela universidade de Pernambuco (UPE). Experiência com pesquisas envolvendo modelagens e produções científicas na Universidade de Pernambuco (UPE) e no Instituto de Tecnologia de Illinois (IIT). Vivência profissional nas áreas de sistemas de geração de energia, incluindo sistemas de geração de energia oriunda de fontes renováveis.

AUTORES

DANIEL TRAUTWEIN

Graduação em Engenheiro Civil pela UEMG de Passos-MG. Atua há 11 anos em projetos e construção de hidrelétricas e mineradoras. Possui mestrado em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá, projetista e pesquisador na área de Segurança de Barragens, co-fundador e CEO da Solver Tecnologias, startup de desenvolvimento de sistemas de monitoramento de estruturas utilizando IOT, inteligência artificial, comandos robóticos, sensoriamento introduzido, comunicação remota e plataformas web-intuitive.

DIEGO DE FREITAS COÊLHO

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Sergipe (2010), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2012) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2016). Realizou o primeiro pós-doutorado na Universidade Federal de Sergipe, UFS, São Cristóvão (2016-2018). O segundo pós-doutorado foi realizado na Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas (2018-2020). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Biotecnologia, atuando principalmente nos seguintes temas: fermentação submersa, produção de biossurfactante, purificação de biomoléculas por sistemas bifásicos aquosos, extração e purificação de bromelina e precipitação fracionária.

DOUGLAS DE LIMA

Engenheiro de materiais pela UPM. Engajado engenheiro com experiência em laboratório e profunda devoção aos processos químicos e de qualidade. Atualmente é coordenador de e-commerce voltado à área comercial. Com facilidades em representatividade e gestão. Especialmente adepto do desenvolvimento e aprimoramento dos processos.

ENISE ARAGÃO DOS SANTOS

Doutora em Administração de Empresas pela UNINOVE e Doutora em Engenharia de Produção na UFSCAR, Mestre em Administração pela FEA-USP, Especialista em Administração de Produção (FECAP), Didática do Ensino Superior (UPM) e Administração de Recursos Humanos (UPM). Atua há 31 anos como docente em cursos de Graduação e Pós-Graduação Lato Sensu EAD nas áreas de Administração, Planejamento Estratégico, Gestão de Projetos, Gestão de Pessoas, Qualidade e Produtividade, Gestão e Planejamento Ambiental e Logística Empresarial. Linhas de pesquisa: empreendedorismo, aprendizagem organizacional, capacidade tecnológica e inovação.

ERNESTO MASSAROPPI JUNIOR

Engenheiro Mecânico pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Bacharel em Ciências da Computação pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP. Mestre em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP Atual na área de Projeto Mecânico e Mecânica dos Corpos Sólidos com especialidade no Método dos Elementos Finitos e no estudo do comportamento Elastoplástico dos Materiais.

FABRICIO MARTINS LACERDA

Doutor em Administração pelo PPGA/UNINOVE (2018). Mestre em Administração, na área de Gestão de Projetos, pelo PMPA-GP/UNINOVE (2013). Especialista em Empreendedorismo: Planejamento e Gestão de Serviços pela UNINOVE (2009). Graduado em Administração de Empresas pela FAGV (1997). Ele é Professor Colaborador da Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR - Campus de Apucarana e Orientador Associado Fixos do curso de MBA em Gestão de Projetos do PECEGE/ESALQ/USP. Atua no contexto corporativo há mais de 20 anos com experiência na área de Administração de Empresas. Linhas de pesquisa: Empreendedorismo, Orientação Empreendedora, Gestão de Projetos e de Portfólio, Gestão de Organizações de Serviços e sem fins Lucrativos.

AUTORES

FELIPHE SANTOS BARANOWSKI

Estudante de Gestão Portuária na Universidade FATEC Rubens Lara em Santos - SP, já cursou 3 anos, do ensino superior com bacharel em Administração na Universidade Paulista UNIP, e atuou no Grupo Bunge Alimentos como ajudante de despachante e membro do departamento de execução de containers. Hoje, é colaborador da Agencia Maritima Alphamar e segue atuando no mercado de importação e exportação de granéis sólidos.

FERNANDA LÍGIA LEONARDO MARQUES

Psicóloga, especialista em Psicologia da aprendizagem, do desenvolvimento e da personalidade. Atualmente, atua como psicóloga escolar no Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Campus Apodi.

GABRIEL SCOMPARIN SILVA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Fundação Hermínio Ometto - UNIARARAS (2012), mestre em Engenharia Mecânica na área de Projeto Mecânico pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP (2018), possui certificação Green Belt (2016) e Black Belt Six Sigma (2018). Atuou por mais de nove anos no segmento de linha branca, desempenhando funções como engenheiro de simulação, análise estrutural e desenvolvimento de produto na Whirlpool Corporation. Atualmente é Aspirante a Oficial na Força Aérea Brasileira.

GERALDO DE SOUZA FERREIRA

Engenheiro de Minas. Engenheiro Geólogo. Mestre em Geociências. Doutor em Engenharia de Produção. Professor do Ensino Superior na Universidade Federal Fluminense. Tutor do Programa de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo (PetroPET). Atua nas áreas de Ensino, Pesquisa e Extensão, por meio de projetos de formação de recursos humanos e desenvolvimento científico tecnológico, com ênfase nas áreas de interesse de Metodologia de solução de problemas em engenharia, Engenharia e sustentabilidade e Recursos naturais, com ênfase em petróleo.

GERALDO LÚCIO TIAGO FILHO

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1979), Mestrado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal de Itajubá (1987) e Doutorado em Engenharia Civil, na área de Hidráulica, pela Universidade de São Paulo (1994). Especialização em Estudos e Projetos de PCH-Eletrobrás-Unifei, 1985- Especialização em Planejamento e Economia em Energia e Meio Ambiente- Fundação Bariloche, Universidade de Comaue- Argentina(1997), Foi Professor Titular da Universidade Federal de Itajubá, 1983-2020 -Membro do Comitê Científico do International Association Hydraulic Research- Hydraulic Machine and System. Membro do Internacional Energy Agency - Anexe II Small Hydro. Membro do Instituto Nacional de Ciência Tecnologia de Energias Oceânicas e Fluviais-INEOF

GISLAINE BRITO SANTOS

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2018) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2021). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos químicos e biotecnológicos, atuando principalmente nos seguintes temas: microalga, biomassa lignocelulósica, aproveitamento de resíduos agrícolas e industriais, produção e purificação de enzimas celulolíticas e fermentação.

GUILHERME JOSÉ DE CASTILHO

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2005), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2007), doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2011), pós-doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (2012) e pós-doutorado na University of British Columbia- Canadá (2016).

AUTORES

Atualmente atua como Professor Doutor II no Departamento de Engenharia de Processos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Sistemas Particulados e Fluidodinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: fluidização, leito fluidizado circulante, tanques de mistura, fibra óptica, Particle Image Velocimetry, processamento de sinais com ênfase em análise de caos.

GUTEMBERGUE SOARES DA SILVA

Prof. do Departamento de Engenharia de Comunicações da UFRN. Doutor em Engenharia Elétrica e da Computação pelo PPgEC da UFRN. Mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE_ UFRJ, MBA em Marketing pela FGV_RJ, Especialização em Telecomunicações pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).Engenheiro Eletricista pela UFRN, e Graduação em Economia pela UFRN.

HALANE MARIA BRAGA FERNANDES BRITO

É Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (2000), mestra em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2003) e doutora em Engenharia Mecânica também pela Universidade Federal da Paraíba (2007). Atualmente é Professora Associada II na Universidade Federal da Paraíba, em dedicação exclusiva, lotada no Departamento de Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, com ênfase em Dinâmica e Controle de Sistemas, atuando principalmente nos seguintes temas: vibrações e seus efeitos, passarelas, testes modais.

ITALO GABRIEL NEIDE

Possui Bacharelado (2004) e Mestrado (2007) em Física e Doutorado em Ciências (ênfase Física Teórica) (2011) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pós Doutor pela Universität Duisburg-Essen. Desenvolveu colaborações na PUC-Chile e University of New Mexico. Atualmente é professor da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, atuando nos cursos de graduação e coordenador do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências Exatas (nível mestrado e doutorado). Tem experiência na área de Física da Matéria Condensada, Modelos Teóricos Computacionais, Ensino de Física e Modelagem Matemática, atuando principalmente nos seguintes temas: Uso de Tecnologias no Ensino de Física, Integração de Atividades Práticas e Computacionais para o Ensino de Física, Modelagem Científica e Design Based Research.

JACKELINE VIEIRA DA SILVA E SILVA

Engenheira de Petróleo formada pela Universidade Federal do Amazonas

JACQUELINE RÊGO DA SILVA RODRIGUES

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2000), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (2006) e doutorado em. Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal de Sergipe. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Biotecnologia. Atuando principalmente nos seguintes temas: petróleo, meio ambiente, higiene ocupacional. Ministra aula de Higiene e Segurança do Trabalho e Ecologia e Controle da Poluição. É líder de Pesquisa do Grupo de Pesquisa em Biotecnologia e Meio Ambiente (GPBIOMA/UFS) cadastrado no CNPq desde 2021.

JAMILE CONCEIÇÃO DE JESUS ROCHA

Graduada em Engenharia Química pela UFBA (2019), mestranda em Engenharia Química com pesquisa voltada para a síntese de catalisadores no laboratório de Catálise e Meio Ambiente (CATAM), Especialista na área de cosméticos pela ABEFARMA. Em sua trajetória acadêmica participou de projetos na área da educação como PIBID, Olimpíadas de Química (2010-2013). Atualmente desenvolve pesquisa voltada para catalisadores aplicados a reação de amoxidaçao do propeno para a síntese da acrilonitrila.

AUTORES

JEFFERSON OLIVEIRA DO NASCIMENTO

Realizou Pós-Doutorado em Sistemas Complexos (com pesquisas em Cenários Epidemiológicos - cujo o foco foi a disseminação do Coronavírus no Brasil) no CIMATEC, em Salvador/BA. Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, na linha de pesquisa de Sistemas Complexos, também pelo CIMATEC. Mestre em Ciências Exatas (PPGECE/Rio Grande do Sul), onde desenvolveu pesquisas em Física (Modelagem Computacional, Simulação Computacional e Psicologia Cognitiva). Pós-graduado em Ensino de Física, pela Universidade Federal do Pará (2006) e também em Desenvolvimento de Sistemas Utilizando Software Livre, pela Universidade da Amazônia. É graduado em Licenciatura Plena em Física, pela Universidade Federal do Pará (2005).

JENNIFFER SOLANGE AYALA RIVERA

Dynamic chemical engineer capable of undertaking multidisciplinary tasks, always with a positive outlook achievement oriented. Good team worker, proactive, competitive and leadership. Experienced and knowledgeable in onshore drilling, completion, workover, hydrocarbon transport, business relationships, project planning, and project management. Always strives to maintain excellent interpersonal and commercial relationships.

JOÃO BOSCO DE AQUINO SILVA

Doutorado em Engenharia Mecânica - University of Manchester Institute of Science and Technology (1992-1996), Inglaterra. Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1985-1987) , Graduação em Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1977-1981). Estágio Pos-doutoral , como pesquisador visitante, no Center for Precision Metrology - University of North Carolina at Charlotte, Estados Unidos (2006-2007) , Professor Titular da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde atua no departamento de Engenharia Mecânica desenvolvendo atividades de Ensino e Pesquisa. É coordenador do Laboratório de Engenharia d Precisão (LEP) do Centro de Tecnologia da UFPB. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia de Precisão e Nanometrologia, atuando principalmente nos seguintes temas: análise da performance das máquinas de medição por coordenadas e máquinas-ferramenta CNC, projeto de máquinas de precisão, metrologia assistida por computador e metrologia de precisão aplicada ao projeto e desenvolvimento de sistemas de medição na escala nanométrica. Membro do comitê de revisores das revistas internacionais: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology , International Journal of Machine Tools and Manufacture e Measurement.

JOEMES DE LIMA SIMAS

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Amazonas (2003); Mestrado em Geociências pela Universidade Federal do Amazonas (2008) e Doutorado em Ciências pela UNICAMP (2021). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geofísica. Atualmente é professora Adjunta Nível III no curso de Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Federal do Amazonas - UFAM.

JORNANDES DIAS DA SILVA

Atualmente, é coordenador do mestrado em tecnologia da energia (PPTE) da Universidade de Pernambuco (UPE), professor associado FS-IIIC do quadro efetivo Universidade de Pernambuco (UPE), lotado na Escola Politécnica de Pernambuco (POLI), professor da graduação da UPE, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de sistemas (PPGES) da UPE. É livre-docente (tese apresentada em 2014) na UPE. Foi coordenador de Graduação na Escola Politécnica de Pernambuco de 2011 a 2014, UPE. Foi presidente da comissão relatora do regime de dedicação exclusiva na Escola Politécnica de Pernambuco de 2011 a 2015. Foi membro da comissão do concurso para o cargo de professor associado da UPE nos anos de 2015, 2016 e 2017. É líder do Grupo de Pesquisa em Energia Renovável (GPER) na UPE, cadastrado no CNPq. - É Coordenador do Laboratório de Tecnologia Energética e Ambiental (2008-atual). Atualmente é revisor dos Applied Energy, Arabian Journal of Chemistry, Chemical Engineering and Processing - Process

AUTORES

Intensification, Chemical Engineering Journal, Chemical Engineering Science, Energy Conversion and Management, Fuel Processing Technology, International Journal of Hydrogen Energy, Journal of Hazardous Materials, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Science of the Total Environment. Tem experiência na área de pesquisa e desenvolvimento de processo com ênfase em processo de reforma para produção hidrogênio, energia renovável como energia fotovoltaica para geração de energia elétrica e armazenamento de energia. Atuando, principalmente nos seguintes temas: modelagem em sistema fotovoltaico movido à energia solar, sistemas termofotovoltaicos e sistema de gerenciamento térmico de bateria. Coordenou três projetos de pesquisa financiados pelo CNPq/Universal e um P&D Proset (FINEP)

JOSÉ ALFREDO F. COSTA

Prof. do Departamento de Engenharia Elétrica pela UFRN. Pós-Doutorado pela Universidade de Manchester. Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. Mestre em Engenharia ELETRICA pela UNICAMP. Engenheiro Eletricista pela UFRN. Graduado em Direito pela UFRN. Especialista em Direito Administrativo

JOSÉ CARLOS DE LIMA JUNIOR

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2001), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2003) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2007). Atualmente é professor da Universidade Federal da Paraíba. Leciona as disciplinas de Elementos de Máquinas II e Acionamentos e Comandos Hidropneumáticos. Atuando nas seguintes linhas de pesquisas: Engenharia de Precisão, Análise da performance das máquinas de medição por coordenadas, Metrologia assistida por computador e metrologia de precisão aplicada ao projeto e otimização de projetos.

JOSÉ CARLOS SANTOS SANTANA

Estudante de Gestão Portuária na Universidade FATEC Rubens Lara em Santos - SP. Curso. Estudante de Gestão Portuária na Universidade FATEC Rubens Lara em Santos - SP, Curso: Operador Portuário Fundação Settaport. Exerce função na área da saúde. Exerço função na área da saúde

KÁTIA CECÍLIA DE SOUZA FIGUEIREDO

Possui graduação (UFMG), mestrado (COPPE/UFRJ) e doutorado (COPPE/UFRJ) em Engenharia Química. Atualmente é Professora Associada no Departamento de Engenharia Química da UFMG. Leciona disciplinas de fenômenos de transporte e operações unitárias. Com relação à pesquisa, tem experiência na área de processos de separação. Ênfase é dada nas separações usando membranas (sólido/líquido, líquidos e gases), adsorção e extração líquido/líquido. Dentre as aplicações investigadas estão o preparo e a caracterização de filmes poliméricos com propriedades avançadas e aplicação de membranas poliméricas, visando separação de gases, líquidos e suspensões. Atua nos Programas de Pós-graduação em Engenharia Química (PPGEQ) e Engenharia de Metalúrgica, de Materiais e de Minas (PPGEM) da UFMG. Orientou e/ou orienta mais de 34 alunos de iniciação científica, 13 trabalhos de conclusão de curso, 14 dissertações de mestrado e 3 teses de doutorado.

KEILLA SANTOS CERQUEIRA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2016) e mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (2019). Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Operações Características de Processos Bioquímicos, atuando principalmente nos seguintes temas: manipueira, isolamento de micro-organismos, quebra de emulsões, fermentação e coagulantes naturais.

AUTORES

LEILA FIGUEIREDO DE MIRANDA

Possui graduação em engenharia química e bacharelado e licenciatura em química pela UPM. É mestre em engenharia química pela EPUSP, doutora em tecnologia nuclear pelo IPEN/USP e Professora Emérita da UPM, onde atuou como coordenadora do curso de Engenharia de Materiais e do programa de mestrado profissionalizante em Engenharia de Materiais e como Diretora da Escola de Engenharia. Foi coordenadora de Avaliação Acadêmica Institucional e da Coordenação Própria de Avaliação da UPM. É Avaliadora do MEC/INEP. São áreas de interesse a reciclagem de materiais, a síntese, caracterização e desenvolvimento de polímeros e compósitos.

LUCAS DE ALMEIDA MARTINS

Engenheiro de Petróleo com especialização Minor em Empreendedorismo e Inovação, ambos pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Atualmente é Consultor Pleno de O&G da BIP Brasil, tendo experiência como Consultor de Estratégica no Global Strategy Group – KPMG Advisry, Auditor Financeiro do setor de O&G pela KPMG Audit e Estagiário na Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) na Superintendência de Segurança Operacional e Meio Ambiente (SSM) na Coordenação de Perfuração.

LÚCIO FLÁVIO SOUZA OLIVEIRA

Técnico em Mecânica pelo Instituto Federal da Paraíba, Campus João Pessoa. Aluno do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa. Tutor da disciplina Álgebra Linear, no âmbito do Programa de Tutoria/PROTUT.

LUÍS ANTÔNIO MAGALHÃES PONTES

Possui graduação em Engenharia Química (EQ) pela EQ/UFRJ (1981), mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFRJ (1984) e doutorado em EQ pela FEQ/UNICAMP (1997). Foi presidente do Centro de Inovação e Tecnologia da petroquímica Unigel e engenheiro e gerente de P&D da Braskem (ex-Copene) por 13 anos. Foi professor titular na Universidade Salvador (Unifacs) atuando como Pró-reitor de Pós-graduação, Pesquisa e Extensão por 11 anos e diretor geral da Fundação Escola Politécnica FEP/UFBA de 2017 a 2020. É presidente do Instituto Brasileiro de Tecnologia e Regulação - IBTR. Atualmente é Professor Associado na EQ da Universidade Federal da Bahia, dedicação exclusiva. É professor e orientador no Programa de Pós-graduação em Engenharia Química UFBA/Unifacs - PPEQ. É consultor ad hoc de agências de fomento, publica e é revisor de diversas revistas nacionais e internacionais. Foi agraciado com os títulos de: Professor Emérito da Unifacs e Sócio Honorário da Sociedade Brasileira de Catálise (SBCat). Atualmente, é bolsista CNPq DT2. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em petróleo e petroquímica, transformação de biomassa e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: processos químicos, reações, catalisadores, combustíveis, biocombustíveis, energia e ambiente.

LUIS FERNANDO CUSIOLI

Doutorando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá na área de gestão, controle e preservação ambiental. Possui graduação em Engenharia Química pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Possui experiência no processo de adsorção para remoção de fármacos e agrotóxicos presentes em águas contaminadas utilizando resíduos agroindustriais como biossorventes.

MANUELA LISBOA DE OLIVEIRA

Doutoranda em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - PPEQ, da Universidade Federal da Bahia - UFBA. Mestre em Processos e Sistemas Químicos pela Universidade Federal da Bahia (2020). Graduada em Engenharia Química pela Universidade Salvador - UNIFACS (2017). Como pesquisadora, vem desenvolvendo trabalhos na área de catálise heterogênea, combustíveis e análises físico-químicas. É integrante do Núcleo de Dessulfurização do Grupo de Pesquisas em Catálise e Ambiente - CATAM, com foco no estudo da conversão catalítica da

AUTORES

biomassa lignocelulósica em moléculas de alto valor agregado a partir de reações-chave desenvolvidas em biorrefinarias

MARCELO ALBANO MORET

Possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1991), mestrado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1996) e doutorado em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000). Atualmente é professor associado - SENAI - Departamento Regional da Bahia, professor titular da Universidade do Estado da Bahia e membro do comitê multidisciplinar da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Estatística e Termodinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: computação, protein folding, auto-similaridade, estatística de tsallis e generalized simulated annealing.

MARCO AURÉLIO CREMASCO

Professor Titular em Engenharia Química e Livre Docente em Transferência de Massa, o Prof. Marco Cremasco possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pós doutorado em Engenharia Química (Purdue University-EUA). Foi agraciado, em 2012, com o Prêmio de Reconhecimento Docente pela Dedicação ao Ensino de Graduação, pela Unicamp. Em 2017, 2019 e 2021 recebeu o Prêmio Inventores Unicamp. Possui publicados os livros: Fundamentos de transferência de massa; Vale a pena estudar engenharia química; Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos; Difusão mássica (Blucher); A criação (Livro Aberto); As coisas de João Flores; Bilros (Patuá); Onde se amarra a terra vermelha (Nave Editora, indicado ao Prêmio Jabuti); Histórias prováveis (Record); Santo Reis da Luz Divina (Record, indicado ao Prêmio Jabuti), Guayrá e A solidão dos anjos (Confraria do Vento), bem como cerca de duzentos artigos completos publicados em revistas especializadas e anais de congressos; quatro patentes concedidas e solicitação de outras três. Tem experiência em campos de Engenharia Química, com ênfase em Transferência de Massa e Sistemas Particulados. Atualmente é assessor na Pró-Reitoria de Extensão e Cultura da Unicamp, faz parte do Conselho Editorial da Blucher (SP) e da Editora da Unicamp.

MARCOS ROGÉRIO FERREIRA

Possui Graduação em Tecnologia em Informática, Graduação em Computação - Licenciatura, Especialização em Tecnologias para o Desenvolvimento de Aplicações Web, Mestrado em Inovações Tecnológicas, Coordenador do IFMaker - Espaço de Inovação do IFMS, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nas áreas de Desenvolvimento de Sistemas, Ensino de Robótica e eletrônica básica com Arduíno, Desenvolvimento Mobile e Analise e Desenvolvimento de Sistemas. Atualmente é professor do quadro efetivo do ensino básico técnico e tecnológico do Instituto Federal do Mato Grosso do Sul.

MARIA EMÍLIA DE LIMA TOSTES

Possui graduação em Curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1987), mestrado (1992) e doutorado (2003) em Engenharia Elétrica pelo PPGEE-UFPA. Diretora do Instituto de Tecnologia - ITEC/UFPA, no interstício de março de 2010 a março de 2014. Vice-Coordenadora do PPGEE - Programa de pós graduação em engenharia elétrica da UFPA, de 2014 à 2018, Coordenadora no período de janeiro de 2018 a fevereiro de 2021. Desde 2018 é professora Titular da UFPA. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nas seguintes linhas: sistemas de distribuição de energia, redes elétricas inteligentes, eficiência energética, energias renováveis, armazenamento de energia, mobilidade elétrica, e qualidade da energia elétrica

AUTORES

MARIA THEREZA DE MORAES GOMES ROSA

Mestre e doutora em engenharia de alimentos pela UNICAM. Realizou doutorado sanduíche na Universidade de Alberta, Canadá. É professora assistente da UPM e desenvolve projetos na área de sustentabilidade, sendo as atuais áreas de interesse a valorização de resíduos e geração de biogás por meio da biodigestão anaeróbia.

MARIANA P. M. SILVA

Possui graduação em Engenharia Mecatrônica pela Universidade de Brasília (UnB). Foi analista de negócios na empresa Mecatrônica Júnior de Brasília (Mecajun). Tem experiência na área de Mecatrônica e Automação. Trabalha atualmente na empresa Quinto Andar, São Paulo/SP.

MÍRIAM TVRZSKÁ DE GOUVÊA

Míriam Tvrzská de Gouvêa, doutora, mestre e engenheira química pela EPUSP, licenciada e bacharel em Química pela UPM, é professora adjunta da UPM. Realizou estágios de pós-doutoramento na USP e na Unicamp. Foi coordenadora técnica do SSDT/RNEST e atuou em projetos de implementação de estratégias de otimização em tempo real enquanto consultora da Invensys System Brasil Ltda.. São áreas de interesse a eficiência energética, a valorização de resíduos orgânicos e síntese de nanocompósitos.

PATRÍCIA ANDRADE MARTINS

Doutora e mestre em Tecnologia Nuclear pela USP/IPEN, licenciada e bacharel em Química pela UPM. Trabalha como técnica química no Centro de Radiofarmácia do IPEN/CNEN-SP, desde 1996. São áreas de interesse a química analítica e síntese de nanocompósitos.

RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO

Possui graduação em Engenharia de Produção civil (DEP/UEM 2005); especialização em Marketing (IPE 2007); especialização em Gestão Estratégica de Empresas (DAD/UEM 2010); mestrado em Engenharia Urbana (DEC/UEM 2012) e doutorado em Engenharia Química (DEQ/UEM 2019). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Paraná.

ROBERTO RODRIGUES DE SOUZA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe - UFS (1992), graduação em Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Sergipe - UFS (2005), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1994) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1997). Realizou pós-doutoramento no Centro de Engenharia Biológica e Química (BERG) do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, com estudos adicionais na Universidade de Birminghan, Inglaterra (1999-2000). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Sergipe. Tem experiência na área de Engenharia Química e em Biotecnologia Industrial, com ênfase em Bioseparações, Operações de Separação e Mistura, Biodegração e Avaliação Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: processos de separação, bioprodutos, biodegradação e monitoramento ambiental. É membro da ABEQ e do CRQ. É líder de Pesquisa do Grupo de Pesquisa em Biotecnologia e Meio Ambiente (GPBIOMA/UFS) cadastrado no CNPq desde 2001.

ROBERTOM GUEDES DO AMARAL

Engenheiro de Petróleo formado pela Universidade Federal do Amazonas

AUTORES

RONALDO COSTA SANTOS

Químico Bacharel, Mestre em Físico-Química, Doutor em Engenharia Química e Pos Doc em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia. Junto a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) foi coordenador executivo no Projeto de Reforma do Ensino Médio na Bahia. Na Universidade de Tecnologia e Ciências (Rede UNIFTC), como Diretor de Pós-Graduação e Inovação, desenvolveu e coordenou cursos de Graduação e Pós-Graduação nas modalidades presencial, semi-presencial e ensino a distância (EaD). Como docente, lecionou disciplinas na áera de Termodinâmica, Físico-Química e Inorgânica. Membro conselheiro do Conselho Regional de Química CRQVII, secção Bahia. Na pesquisa, vem desenvolvendo projetos na área de catálise heterogênea, com ênfase em petróleo, petroquímica, transformação de biomassa e meio ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: reações, catalisadores, combustíveis, biocombustíveis, energia e ambiente.

ROSANE TARGINO DE MEDEIROS

Graduanda em Psicologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN/FACISA), Campus Santa Cruz. Técnica em Enfermagem com experiência no serviço público no Sistema Único de Saúde. Interesse nas temáticas Ciências da Saúde, Terapia cognitivo Comportamental, Desenvolvimento Humano e Neurociências da aprendizagem.

ROSANGELA BERGAMASCO

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1984), mestrado em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina (1989), doutorado sanduiche em Engenharia Química - Universite de Montpellier II (Scien. et Tech Du Languedoc) (1996) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1996). Pós-doc em Engenharia Química - Université Laval - Québec- Canadá(2002). Atualmente é professor associado da Universidade Estadual de Maringá. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária e Química, com ênfase em Técnicas alternativas para o Tratamento de Águas, atuando principalmente nos seguintes temas: processos separação com membranas, utilização de coagulantes naturais, produção e caracterização de meios porosos para a filtração. Outras áreas de atuação: resíduos sólidos, aproveitamento (reuso) de resíduos sólidos provindos da Indústria de alimentos e têxtil e efluentes líquidos (foto-fenton, eletrofenton e foto-eletrofenton). Avaliadora do sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - SINAES - Avaliador de Curso de Graduação e Avaliador Institucional.

SIDNEY EVANGELISTA ARAÚJO

Estudante de Gestão Portuária na Universidade FATEC Rubens Lara em Santos – SP. CURSO-Marketing, Administração, Sindicato do Comercio de Guaruja, ---Guaruja, -SP

SÔNIA ELISA MARCHI GONZATTI

Possui graduação em Ciências pela Universidade de Santa Cruz do Sul (1995) e graduação em Ciências - Habilitação em Física - Licenciatura Plena pela Universidade de Santa Cruz do Sul (1997), Mestrado em Ensino de Física na UFRGS (2008) e Doutorado em Educação pela PUCRS (2015). É professora titular da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, Lajeado-RS. Docente do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas da Univates.

TEÓFILO CÂMARA MATTOZO

Doutor em Engenharia Elétrica e da Computação pelo PPgEC da UFRN. Engenheiro Eletricista pela UFRN, Mestre em Engenharia de Produção pela UFRN, MBA em Marketing pela FGV_RJ, MBA em Finanças pela FGV_RJ, Especialização em Telecomunicações pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

AUTORES

THIAGO MOTA SOARES

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2009) e Mestrado em Engenharia Elétrica Universidade Federal do Pará (2012) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2019). Atualmente, é professor na Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará e pesquisador no Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia. Tem experiência em Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência atuando principalmente nos seguintes temas: Qualidade da Energia Elétrica, Eficiência Energética, Fluxo de Carga harmônico, estimação de estado, Inteligência Computacional aplicada a Sistemas de Potência, Máquinas Elétricas e Smart Grid.

UBIRATAN HOLANDA BEZERRA

Possui graduação em Engenharia Elétrica Opção Eletrônica pela Universidade Federal do Pará (1976), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1980) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1985). Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Pará, atuando no ensino de graduação e pós-graduação, com orientação de mestrado e doutorado. Pesquisador do CEAMAZON - Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia, onde desenvolve pesquisas e consultorias para empresas do setor elétrico, voltadas para os temas preferenciais: Avaliação da Segurança de Sistemas Elétricos; Qualidade da Energia Elétrica; Geração Distribuída; Planejamento e Operação de Redes de Distribuição de Energia

URSULA JÁCOME BARRETO BRITTO

Nascida em Natal-RN, Bacharel em Ciências e Tecnologia e Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2014). Fundadora e Presidente do Capítulo Estudantil da Society of Petroleum Engineers na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente trabalha como Gerente de Projetos e possui interesses em automação e engenharia de dados.

VINÍCIUS ANTÔNIO CARDOSO MENDES

Estudante de Engenharia Mecânica na UFPB – Universidade Federal da Paraíba. Fiz parte do projeto de extensão E-motion: Uma solução completa de engenharia e responsabilidade com o meio ambiente e do PIVIC Revisão sistemática da literatura sobre o WCM e ISO 45001. Tenho conhecimentos em Lean, FEM e ferramentas de programação JavaScript e Mathlab.

VINÍCIUS BORGES ANDRADE

Possui graduação em Engenheria Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2018), mestrado em Engenharia Elétrica pela UFPA (2021). Aluno de doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) na Universidade Federal do Pará e integrante do Centro de Excelência Em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em modelagem de redes elétricas e simulações de geração distribuída fotovoltaica. Atualmente é analista de regulação pela Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA), com ênfase em analise de Mercado de energia.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson